

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Možnosti využití struskového kameniva z haldy Koněv
Possibilities of processing of slag of heap Koněv

Student:

Bc. Lukáš Procházka

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jana Boháčová Ph.D

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Lukáš Procházka

Studijní program:

N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb

Téma:

Možnosti zpracování struskového kameniva z haldy Koněv
Possibilities of processing of slag of heap Koněv

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je ověření možnosti zpracování struskového kameniva z haldy Koněv Kladno do stmelovaných hydraulických směsí.

V rámci experimentu budou ověřeny vybrané fyzikálně-mechanické a trvanlivostní parametry připravených směsí, v nichž bude jako kamenivo použita vzduchem chlazená vysokopecní struska.

Seznam doporučené odborné literatury:

PYTLÍK, P. Technologie betonu, VUT Brno, 2000.

VLČEK, J. Materiálové využití strusek z metalurgie železa a oceli metodou alkalické aktivace. Habilitační práce, Ostrava, FMMI, VŠB-TUO, 2008.

BROŽ, L. Výroba surového železa. Vyd. 1. Ostrava, Vysoká škola báňská, 1964.

DROCYNHTKA, J., MATULOVÁ, P. Lehké stavební látky. 1. vyd. Brno, Vysoké učení technické, 2006.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Boháčová**

Datum zadání: 28.02.2017

Datum odevzdání: 30.11.2017


doc. Ing. Vlastimil Bšlek, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 30. 11. 2017

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě diplomové práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 30. 11. 2017

Anotace

Procházka, L. *Možnosti využití struskového kameniva z haldy Koněv*. Ostrava, 2017. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb.

Diplomová práce je zaměřena na porovnání vybraných vlastností struskového a přírodního kameniva u receptur připravených na bázi portlandského cementu a alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky. V recepturách bylo jako plnivo použito struskové kamenivo z haldy Koněv v Kladně a běžně dostupné přírodní kamenivo z Tovačova a Hrabůvky.

Cílem práce je ověření, zda lze struskové kamenivo použít do hydraulicky stmelených směsí na bázi tradičního portlandského cementu a rovněž do alternativních pojiv na bázi alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky.

V první fázi experimentu byly stanoveny základní fyzikálně-mechanické parametry připravených směsí, dále byly ověřeny trvanlivostní vlastnosti. Ve finální části bylo zkoumáno složení výluhu kameniva a jeho vliv na vlastnosti připravených směsí. V poslední části experimentu bylo struskové kamenivo testováno na rozpadavost v autoklávu, kdy tato zkouška probíhala v externí firmě.

Na základě dosažených výsledků lze struskové kamenivo z haldy Koněv použít jako plnivo do hydraulicky stmelených směsí při splnění specifických podmínek.

Klíčová slova: alkalická aktivace, struskové kamenivo, přírodní kamenivo, vysokopecní granulovaná jemně mletá struska, cement, beton, kompozit.

Abstrakt

Procházka, L. *Possibilities of processing of slag of heap Koněv*. Ostrava, 2017. Diploma Thesis. Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Building Materials and Diagnostics of Structures.

The Diploma Thesis is focused on comparison of selected properties of slag aggregate and natural aggregate in recipes prepared on the basis of Portland cement and alkaline activated blast furnace slag. In mixtures was used as filler the slag aggregate from Koněv heap in Kladno and commonly available natural aggregate from Tovačov and Hrabůvka.

The aim of this work is to verify whether slag aggregate can be used in hydraulically binded mixtures based on traditional Portland cement as well as alternative binders based on alkali activated blast furnace slag.

In the first phase of the experiment the basic physical and mechanical parameters of the prepared mixtures were determined, and the durability properties were verified. In the final part, the composition of the aggregate extract and its influence on the properties of the prepared mixtures was investigated. In the last part of the experiment, slag aggregate was tested for disintegration in the autoclave when this test was conducted in an external company.

On the basis of the results obtained, the slag aggregate from the Koněv heap can be used as a filler in hydraulically stacked mixtures subject to specific conditions.

Key words: Alkali Activation, Slag aggregates, Nature aggregates, Granulated finely ground blast furnace slag, Cement, Concrete, Composite.

Obsah

Seznam použitého značení:	10
1. Úvod	11
2. Pojiva na bázi cementu	12
2.1. Definice betonu	12
2.2 Hydratace portlandského cementu	13
2.3 Kamenivo do betonu	14
2.3.1 Přírodní kamenivo	14
2.3.2 Umělé kamenivo	15
3.3.3 Recyklované kamenivo	15
3. Alkalicky aktivované systémy	16
3.1 Chemická podstata alkalické aktivace	16
3.2 Struktura a chemické složení pojiva na bázi VGS	17
3.2 Suroviny pro alkalickou aktivaci	18
3.2.1 Vysokopecní granulovaná struska	18
3.2.2 Fluidní popílek	19
3.2.3 Mikrosilika	20
4. Struskové kamenivo	21
4.1 Popis struskového kameniva použitého v experimentu	22
4.2 Použití struskového kameniva v hydraulicky stmelených směsích	22
5. Použité suroviny	23
5.1 Vysokopecní granulovaná struska	23
5.2 Cement	23
5.3 Záměsová voda	23
5.4 Aktivátory	24
5.4.1 Sodné vodní sklo	24
5.5 Struskové kamenivo	24
5.6 Přírodní kamenivo	25
5.7 Plastifikátor	25
6. Pracovní postupy	26
6.1 Příprava a ošetření zkušebních těles	26
6.1.1 Postup přípravy čerstvého betonu	26
6.1.2 Postup míchání čerstvé alkalicky aktivované hmoty	26
6.2 Objemová hmotnost čerstvého betonu	27
6.3 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu	27

6.4 Zkouška sednutím	28
6.5 Zkouška rozlitím	28
6.6 Stupeň zhutnitelnosti.....	28
6.7 Stanovení vlivu výluhu z recyklovaného kameniva na počátek tuhnutí cementu	29
6.8 Pevnost v příčném tahu.....	30
6.9 Pevnost v tlaku.....	30
6.10 Dynamický model pružnosti – ultrazvuková impulzová metoda	31
6.11 Pevnost v tahu za ohybu čtyřbodovým ohybem	32
6.12 Statický modul pružnosti v tlaku	33
6.13 Hloubka průsaku tlakovou vodou	34
6.14 Stanovení mrazuvzdornosti betonu.....	34
6.15 Stanovení odolnosti povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek	34
6.16 Rozpadavost struskového kameniva pařením v autoklávu	35
6.17 Termická analýza	36
6.17.1 Termogravimetrie (TG).....	36
6.17.2 Diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC).....	36
6.18 Spektrometrie.....	36
6.19 Kalorimetrie	36
7. Experimentální část	37
7.1 Směsi na bázi portlandského cementu	37
7.1.1 Struskobeton.....	37
7.1.2 Beton	38
7.2 Směs na bázi alkalicky aktivované vysokopecní strusky	38
7.2.1 Alkalicky aktivovaný struskobeton.....	38
7.2.1 Alkalicky aktivovaný beton	39
7.3 Vlastnosti čerstvých směsí.....	39
7.3.1 Vlastnosti čerstvých směsí se struskovým kamenivem.....	39
7.3.2 Vlastnosti čerstvých směsí s přírodním kamenivem	41
7.3.3 Vyhodnocení čerstvých směsí.....	43
7.4 Fyzikálně mechanické vlastnosti na trámcových tělesech.....	43
7.4.1 Fyzikálně mechanické vlastnosti u AASB	43
7.4.2 Fyzikálně mechanické vlastnosti u SB.....	46
7.4.3 Fyzikálně mechanické vlastnosti u AAB	48
7.4.4 Fyzikálně mechanické vlastnosti u B	50

7.4.5 Vyhodnocení trámčových těles	52
7.5 Fyzikálně mechanické vlastnosti na krychelných tělesech.....	54
7.5.1 Fyzikálně mechanické vlastnosti u AASB	54
7.5.2 Fyzikálně mechanické vlastnosti u SB.....	56
7.5.3 Fyzikálně mechanické vlastnosti u AAB	57
7.5.4 Fyzikálně mechanické vlastnosti u B	58
7.5.5 Vyhodnocení krychelných těles	60
7.6 Fyzikálně mechanické vlastnosti na válcových tělesech	62
7.6.1 Vyhodnocení válcových těles.....	62
7.7 Stanovení maximálního průsaku tlakovou vodou.....	66
7.7.1 Vyhodnocení maximálního průsaku.....	66
7.8 Mrazuvzdornost	69
7.8.1 Vyhodnocení mrazuvzdornosti	69
7.9 Stanovení odolnosti povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek (CHRL)	71
7.9.1 CHRL se struskovým kamenivem.....	71
7.9.2 CHRL s přírodním kamenivem.....	73
7.9.3 Vyhodnocení CHRL.....	75
7.10 Stanovení vlivu výluhu na počátek tuhnutí pojivových systémů	76
7.10.1 Vliv výluhu na počátek tuhnutí cementu.....	76
7.10.2 Vliv výluhu na počátek tuhnutí alkalicky aktivované strusky	76
7.10.3 Stanovení pH a množství síranů ve výluhu	77
7.10.4 Stanovení chemického složení pomocí spektrometru	78
7.10.5 Stanovení termické analýzy	79
7.10.6 Vyhodnocení vlivu výluhu	81
7.11 Kalorimetrie	82
7.12 Rozpadavost struskového kameniva pařením v autoklávu	87
8. Závěr	88
9. Poděkování	91
10. Použitá literatura.....	92
11. Seznam obrázků:.....	95
12. Seznam tabulek:.....	97
13. Seznam příloh	98

Seznam použitého značení:

A	Vliv výluhu v min
AAB	Alkalicky aktivovaný beton
AASB	Alkalicky aktivovaný struskobeton
A_c	Plocha, na kterou působí zatížení při zkoušce pevnosti v tlaku v mm^2
b	Délka boční strany tělesa pro zkoušku v tahu za ohybu v mm
B	Beton
C	Stupeň zhutnitelnosti
C_2S	Dicalciumsilikát
C_3A	Tricalciumaluminát
C_3S	Tricalciumsilikát
C_4AF	Tetracalciumaluminátferit
C-S-H	Calcium-silkát-hydráty
D	Objemová hmotnost v kg/m^3
$d_1; d_2$	Rozměry příčného řezu tělesa v mm
E_{cu}	Dynamický modul pružnosti v tlaku v GPa
F	Maximální zatížení v N
f_c	Pevnost v tlaku v MPa
f_{cf}	Pevnost v tahu ohybem v MPa
f_{ct}	Pevnost v příčném tahu v MPa
F_f	Lomové zatížení pro zkoušku tahu za ohybu v kN
l	Vzdálenost podpor u zkoušky v tahu za ohybu v mm
Q_s	Úbytek hmotnosti v %
SB	Struskobeton
UHPC	Ultra high performance concrete
VGS	Vysokopecní granulovaná struska
ρ_a	Hmotnost odpadu v g/m^2

1. Úvod

Vzhledem k aktuálním trendům ve stavebnictví, v nichž je jedním ze základních požadavků na stavby udržitelný rozvoj (rozvoj, který zabezpečuje uspokojení současných potřeb, aniž by ohrozil uspokojení potřeb generací budoucích), je nutné hledat možnosti náhrady primárních, těžených surovin jejich alternativami, tedy surovinami druhotnými, odpadními.

V této práci je testována možnost použití struskového kameniva z haldy Koněv v Kladně do betonových a alkalicky aktivovaných směsí. Výsledné vlastnosti struskového kameniva jsou porovnány s výsledky dosaženými při použití přírodního kameniva, je rovněž zhodnoceno použití struskového kameniva v hydraulicky stmelených směsích.

V experimentu jsou použity dva pojivové systémy, a to jeden klasický na bázi portlandského cementu a druhý na bázi alkalicky aktivované jemně mleté granulované vysokopecní strusky.

První část experimentu je zaměřena na stanovení základních fyzikálně-mechanických vlastností u připravených směsí. Tyto vlastnosti byly stanoveny na válcových, krychelných a trámčových tělesech.

Další část experimentu je zaměřena na stanovení trvanlivostních vlastností sledovaných kompozitů, a to konkrétně maximálního průsaku, mrazuvzdornosti a stanovení odolnosti povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek. Dosažené výsledky jsou vzájemně porovnávány jak mezi použitými typy kameniva, tak mezi jednotlivými pojivovými systémy.

V rámci experimentu byly rovněž připraveny výluhy ze struskového kameniva a byl sledován jejich vliv na počátek tuhnutí u obou typů pojivových systémů. Na výluzích bylo stanoveno pH, orientačně byl stanoven obsah síranů. Na pevných fázích byla následně provedena termická analýza a rovněž bylo stanoveno chemické složení výluhu pomocí spektrometru.

V poslední části experimentu bylo struskové kamenivo testováno na rozpadávanost v autoklávu, přičemž tato zkouška probíhala v externí firmě.

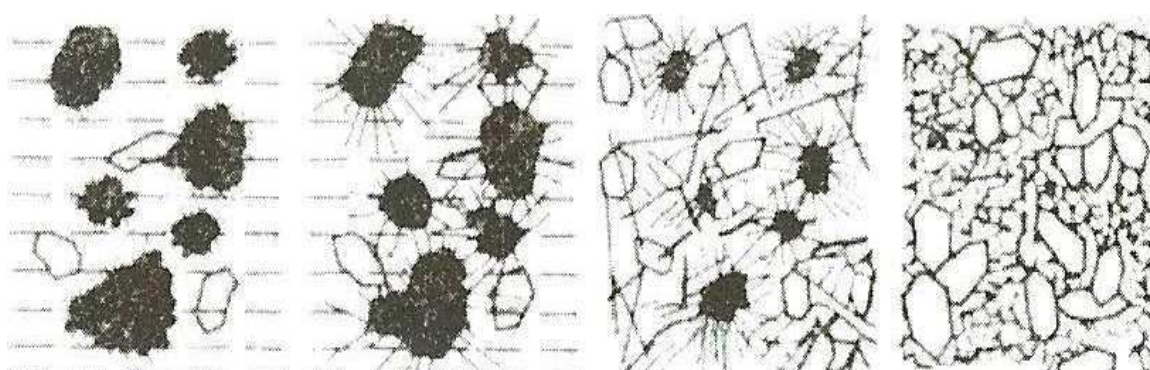
2. Pojiva na bázi cementu

Jedná se o systémy, kde pojivovou složku tvoří cement. Cement je jemně mleté práškové hydraulické pojivo, což znamená, že po smíchání s vodou tuhne a tvrdne na vzduchu i ve vodě a zachovává si svoje vlastnosti. Cement je surovina, která se získává mletím slínku s přísadami. Slínek je vyráběn pálením vhodných surovin nad mez slinutí, ta se pohybuje kolem 1450 °C. [34]

2.1. Definice betonu

Beton je definován jako umělý kámen a v dnešní době se jedná o nejrozšířenější stavební materiál. Beton bývá označován jako kompozit, skládající se z kameniva, jež zastává funkci plniva, další složkou je pojivo, které tvoří hydratované maltoviny nejčastěji na bázi cementu a poslední složku betonu tvoří vzduchové póry. [31]

Primární vlastnosti betonu jsou ovlivňovány převážně skladbou a poměrem základních složek a kvalitou jejich vzájemného promísení. Vlastnosti betonu lze ovlivnit použitím vhodných přísad a příměsí, které mohou ovlivnit jak počáteční vlastnosti, tak i ty konečné. Dále jsou vlastnosti betonu ovlivňovány účinky okolního prostředí, proto se vlastnosti zatvrdlého betonu v závislosti na čase mění. [32]



Obr. 1 Vývoj struktury - od plastického po ztvrdlý stav betonu [22]

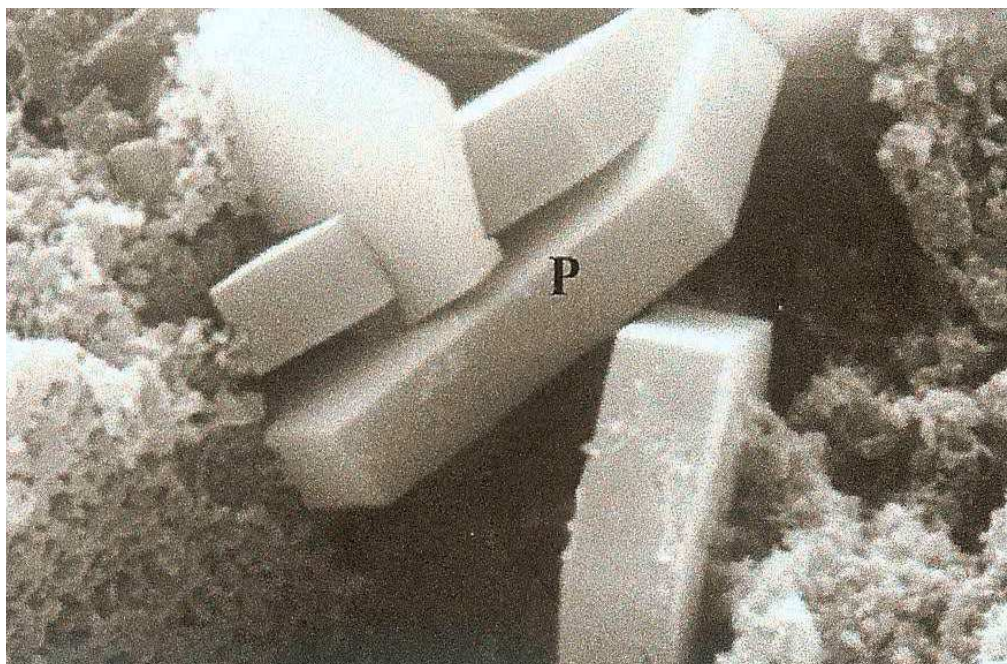
2.2 Hydratace portlandského cementu

Průběh hydratačních reakcí je závislý na mineralogickém složení cementu, jemnosti mletí, množství záměsové vody, teploty a na použití přísad a příměsí. U cementů s běžným měrným povrchem hydratuje pouze přibližně 15 % cementu. Zbývající část zůstává nehydratovaná a ve vzniklé struktuře má funkci plniva. [32]

Po smíchání cementu s vodou začínají reagovat slínkové minerály. Nejrychleji reaguje C_3A , následuje C_4AF , C_3S a poté následuje β - C_2S . [29]

Reakce s účastí síranu vápenatého, aluminátové a feritové fáze mají význam především v prvotním okamžiku tuhnutí a tvrdnutí. Konečné fyzikálně-mechanické vlastnosti zatvrdlého cementu jsou závislé na množství C-S-H gelu a $Ca(OH)_2$, které vznikají hydratací alitu a belitu. Výsledkem je, že alit odštěpuje $Ca(OH)_2$ a přechází v hydrosilikátový gel, jenž tvoří slupku okolo zrna původního cementu. S dále postupující reakcí se gelové vrstvy spojují, kdy C-S-H gel tvoří jehlicovité útvary. Ty vyplňují prostor mezi zrny cementu. [29]

Naopak hydroalumináty a sulfoaluminoferity vznikají hydratací a krystalizují v roztoku. Obě reakce probíhají souběžně. Další reakcí je krystalizace destičkovitých krystalů $Ca(OH)_2$ z přesyceného roztoku (Obr. 2). S dalšími reakcemi se voda chemicky váže, tím gelová hmota postupně tuhne a nabývá na pevnosti. Se vznikajícími krystalky $Ca(OH)_2$ jsou ve hmotě uloženy nehydratované slínkové minerály. [29]



Obr. 2 Portlandit ve struktuře betonu [22]

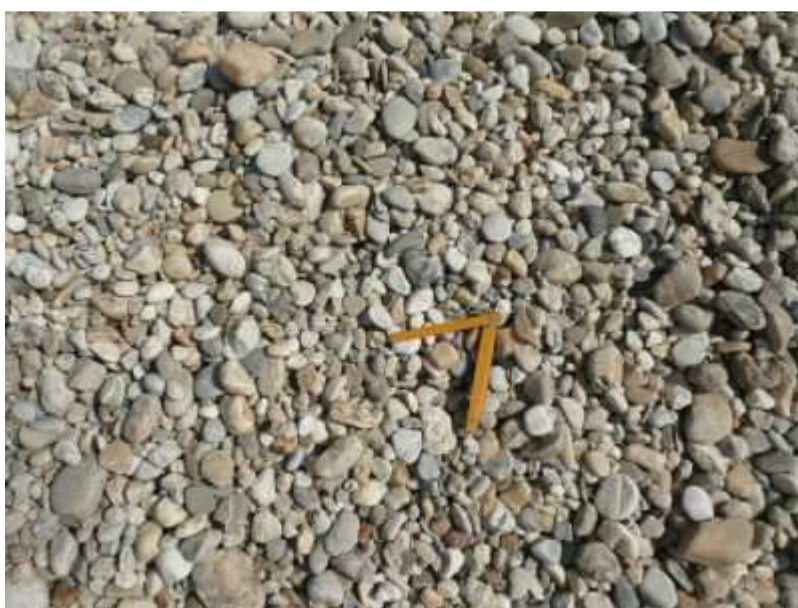
2.3 Kamenivo do betonu

Kamenivo v betonu tvoří pevnou kostru, která musí mít minimální mezerovitost. Obvykle tvoří 75 – 80 % objemu betonu, proto je kladen důraz na optimální zrnitost. Vlastnosti kameniva mohou ovlivnit trvanlivé a fyzikálně mechanické vlastnosti betonového kompozitu. [32]

2.3.1 Přírodní kamenivo

Přírodní kamenivo se zpracovává z hornin, minerálů a zemin pouze mechanickými procesy. Toto kamenivo je možné rozdělit do tří skupin: těžené, drcené a předrcené. [34]

Těžené kamenivo vzniká přirozeným rozpadem hornin a následným těžením z vodních toků a naplavenin. Toto kamenivo se vyznačuje oblými tvary zrn (Obr. 3) a je vhodné pro čerpané a samozhutnitelné betony. [34]



Obr. 3 Těžené kamenivo [42]

Drcené kamenivo se vyrábí drcením velkých kusů hornin, které jsou vytěženy z lomu. Po podrcení se kamenivo třídí do jednotlivých frakcí. Drcené kamenivo se vyznačuje ostrými hranami kameniva, nepravidelným tvarem a drsným povrchem. [34]

Předrcené kamenivo se drtí z velkých kamenů těženého kameniva. Podíl předrcených zrn je větší než 40 %. [34]

2.3.2 Umělé kamenivo

Umělé kamenivo vzniká zejména při tepelných procesech. Vyrábí se především z průmyslových odpadů. Zde se řadí především strusky, škváry, skleněné střepy, agloporit. Dalším způsobem výroby je úprava hornin nebo zemin. Mezi zástupce této skupiny kameniva patří liapor (keramzit) viz Obr. 4, vermikulit, experlit, expandit, nebo siopor. [34]



Obr. 4 Umělé kamenivo liapor [41]

3.3.3 Recyklované kamenivo

Toto kamenivo se vyrábí z materiálů, které byly již dříve použity ve stavební konstrukci. Mezi hlavní zástupce patří betonový a cihelný recyklát. [34]

3. Alkalicky aktivované systémy

V současné době se ve výzkumné sféře začíná prosazovat používání alternativních pojiv a kompozitních materiálů různého složení, především pak bez obsahu portlandského cementu. Tyto materiály rozšiřují nabídku maltovin a betonů a díky tomu vedou k šetření přírodních zdrojů a k využívání sekundárních surovin z metalurgického a energetického průmyslu a zároveň se vyznačují kvalitními užitnými vlastnostmi.

Druhotné suroviny, z nichž jsou alternativní pojivové systémy připravovány, se často zbytečně ukládají na skládky, a přitom mohou být levnější, ekologickou a zároveň i plnohodnotnou náhradou přírodních materiálů ve stavebním průmyslu a při úpravách krajinného rázu.

Efektivnímu využití těchto alternativních pojivových systémů na bázi sekundárních materiálů brání především nedostatečná informovanost odborné veřejnosti, nedůvěra z důvodu minimálního množství praktických aplikací ve stavebnictví a rovněž vysoká variabilita vlastností konečných produktů v závislosti na vlastnostech vstupních materiálů, podmínkách prostředí vzniku a podmínkách uložení těles. [2, 3]

3.1 Chemická podstata alkalické aktivace

Alkalicky aktivované systémy vznikají alkalickou aktivací aluminium-silikátových látek. Jde o materiály, které odpovídají svou strukturou rozhraní hydraulických anorganických pojiv a keramiky, skla. Materiály, které jsou vhodné pro alkalickou aktivaci, tvoří především druhotné suroviny, například elektrárenské popílký a vysokopeční strusky, dále přírodní materiály (tufy, pemzy) a upravené jílové minerály (metakaoliny). [24, 37]

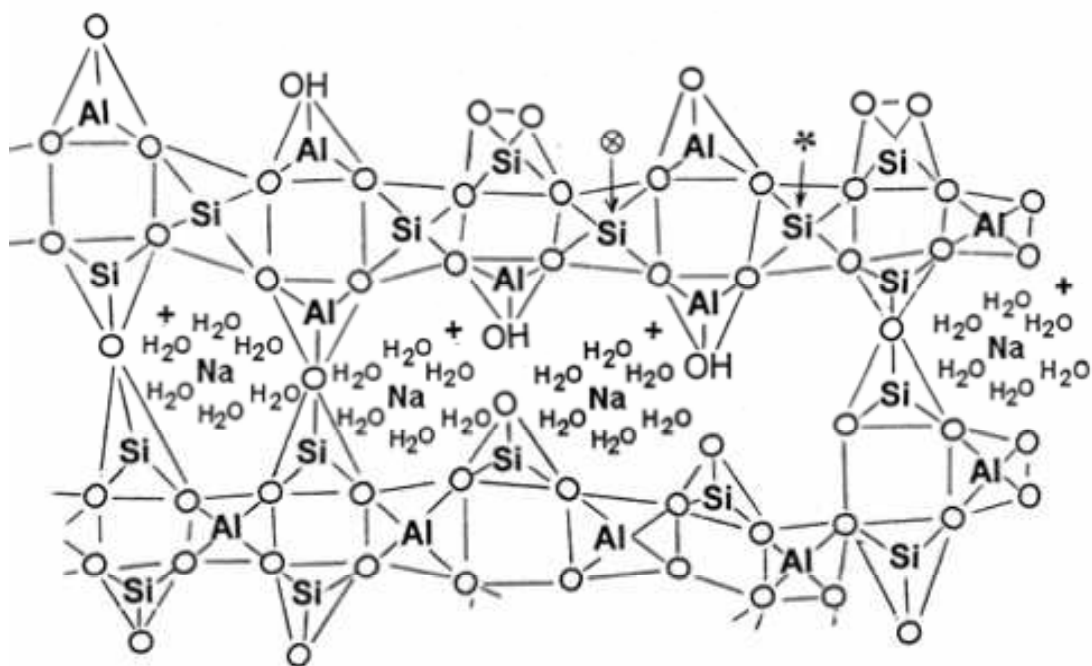
Výsledné produkty alkalické aktivace se liší v závislosti na použitých vstupních materiálech. Pokud jsou alkalicky aktivovány látky s vysokým obsahem CaO (typicky vysokopeční strusky), jsou produkty hydratace podobné produktům hydratace portlandského cementu, vznikají tedy CSH gely. [1,33]

U hmot, které vznikají alkalickou aktivací materiálů s nízkým obsahem CaO, se předpokládají jiné hydratační produkty, a to zejména zeolitické fáze typu $(\text{Na}, \text{K}_n\{-(\text{Si}-\text{O})_z-\text{Al}-\text{O}\}_n \cdot w\text{H}_2\text{O})$, tvořené křemíkovými a hliníkovými tetra a oktaedry,

kteře vzájemným řetěžením vytvářejí tzv. sialáty $[-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-]$, sialáty siloxo $[-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-]$ a sialáty disiloxo $[-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-]$ (Obr. 5). [33, 37]

Vlivem rozdílného složení použitých surovin se předpokládá ve vytvořeném kompozitu několik různých typů konečných produktů. [24]

Vzniklé materiály se vyznačují krystalickou, semikrystalickou i amorfni strukturou. Jedná se o materiály, které jsou nerozpustné ve vodě. [24]



Obr. 5 Struktura geopolymery [25]

3.2 Struktura a chemické složení pojiva na bázi VGS

Strukturální vývoj AAM založený na VGS je heterogenní reakční proces, který se řídí čtyřmi mechanismy: rozpouštění sklovitých prekurzorových částic, nukleace a růst počátečních pevných fází, interakce a mechanická vazba na hranicích vzniklých fází, a probíhající reakce prostřednictvím dynamické chemické rovnováhy a difuze aktivních druhů prostřednictvím reakčních produktů vzniklých v čase vytvrzování. [30]

Struktura a složení produktu typu C-A-S-H, které vzniká při aktivaci VGS, je silně závislé na povaze použitého aktivátoru. Produkt C-A-S-H, vytvářený v NaOH aktivované VGS, vykazuje vyšší poměr Ca/Si a uspořádanou strukturu, než gel C-A-S-H, jenž se formuje v pojivech křemičitanem aktivovaných strusek, v důsledku zvýšené dostupnosti silikátových sloučenin v roztoku systému aktivovaném křemičitanem. [30]

Nedávné studie také ukázaly, že je možné, že některé chemicky vázané Ca v C-A-S-H jsou nahrazeny Na, což vede k vytvoření vnitřního typu gelu C-(N)-A-S-H v obou (NaOH a křemičitanem) aktivovaných VGS pojivech. Gely typu C-(N)-A-S-H byly také pozorovány v mezifázové přechodové zóně mezi křemičitými agregáty a pojivy VGS aktivovanými křemičitany s nižším poměrem Ca/Si, než je pozorováno u vazebného gelu vytvořeného ve zbývajících částech produktu. [30]

3.2 Suroviny pro alkalickou aktivaci

V následující kapitole jsou stručně popsány vybrané pojivové složky vhodné pro alkalickou aktivaci.

3.2.1 Vysokopecní granulovaná struska

Struska, vedlejší produkt výroby surového železa, se začíná tvořit ve vysoké peci při měknutí vsázky. Tato fáze se nazývá prvotní. Před vznikem samotné strusky dochází ke spékání částečně redukovaného aglomerátu. Postupným snižováním viskozity strusky klesá prvotní struska do oblastí, kde se vyskytují nejvyšší teploty. Struska přichází do kontaktu s rozžhaveným koksem a tím se uzavírá redukce železa. Dochází k roztavení zbylých oxidů SiO_2 , CaO , MgO a Al_2O_3 . Důsledkem toho se mění chemické složení strusky a zvětšuje se její objem (tato fáze se označuje jako přechodová). Struska musí mít takové vlastnosti, aby co nejdokonaleji odsířila železo, zajistila dokonalou redukci železa a dobře vytékala z pece. [35]

Objem strusky, která vzniká při vysokopecním procesu, závisí především na obsahu balastních složek ve zpracovávané kovonosné rudě. Množství vznikající vysokopecní strusky na jednu tunu surového železa se obvykle pohybuje v rozmezí 400 až 600 kg. [27]

Vysokopecní struska obsahuje oxidy (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Mg , MnO , FeO , BaO , TiO_2), do ní přecházejí sulfidy (CaS , MgS , BaS , MnS , Na_2S , K_2S) a současně také některé nitridy a karbonitridy. Složení vysokopecní strusky závisí na složení materiálů, které jsou vsazovány do vysoké pece (struskotvorné přísady, koks a železné rudy). Složení vysokopecní strusky je ovlivňováno technologickou kvalitou reakcí probíhajících ve vysoké peci. [27]

Konečné fázové složení vysokopecní strusky závisí také na teplotě dosažené ve vysoké peci, na viskozitě a rychlosti chlazení. Při výrobě surového železa se tvoří

struska při teplotě 1450 °C. Struska se následně buď chladí prudce pomocí vody a vzniká granulovaná struska nebo hmota chladne na vzduchu a vzniká struska sypaná. Rychle ochlazovaná struska vykazuje skelnou strukturu díky vysokému podílu amorfního oxidu křemičitého, což jí zaručuje latentně hydraulické vlastnosti. Nejvhodnější metodou pro dosažení co nejvyššího podílu skelné fáze je vodní granulace pod tlakem, která umožňuje získat až 90 % amorfní fáze potřebné pro latentně hydraulické vlastnosti pojiva. Obsah oxidů CaO, MgO, SiO₂ v % hmotnosti se uvádí minimálně 66,7 %. [26]



Obr. 6 Výroba granulované vysokopecní strusky ArcelorMittal Ostarva [27]

3.2.2 Fluidní popílek

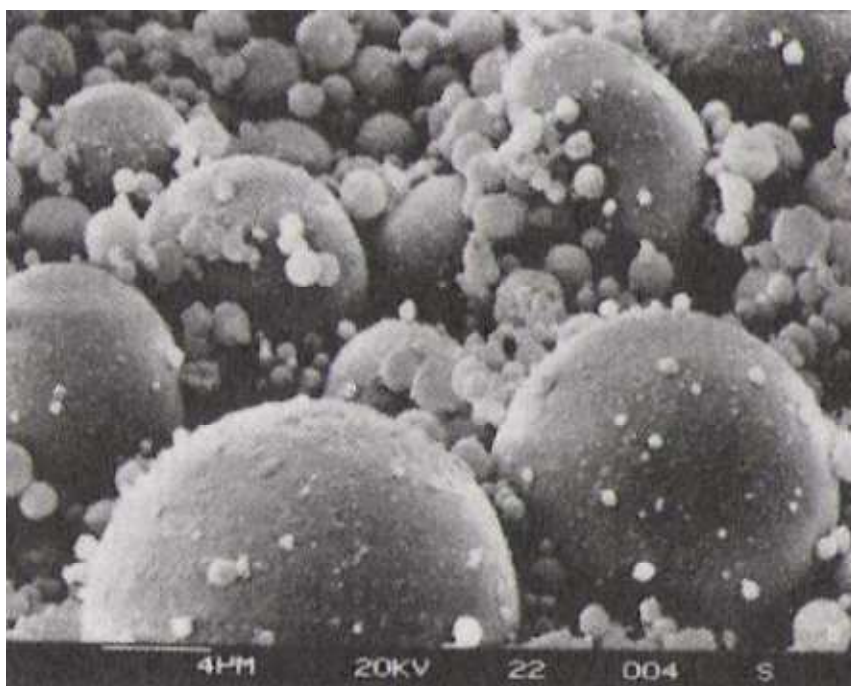
Popílký patří mezi tuhé produkty, které vznikají při spalování uhlí a jsou obsaženy ve spalínách. Popílký jsou zachycovány pomocí filtrů, kterými lze zachytit až 99 % popílku. Popílký s pucolánovou aktivitou pocházejí převážně ze spalování černého a hnědého uhlí. Výsledné složení popílku je závislé na kvalitě uhlí, způsobu spalování a dalších přídatných činidlech. [26]

Fluidní popílký jsou novým typem popílků, které vznikají při fluidním spalování práškového uhlí spolu s vápencem při teplotě 850 °C. Tento typ popílků obsahuje

i nespálené zbytky uhlí a má odlišné vlastnosti. Ve fluidních popílcích se vyskytuje více CaO, obvykle v rozsahu 15 - 35 %, ve formě měkce páleného vápna. [26]

Klasické popílký vznikají při spalování uhlí na rošttech při teplotě 1400 - 1600 °C a organická část uhlí je dokonale spálena. Krystalické fáze jsou v popílcích zastoupeny od 5 do 50 % a tvoří je křemen, mullit, hematit, spinel, magnetit a melilit. [26]

Pro účely použití popílků v pojivech je důležitá jejich pucolánová aktivita, která je vyjádřena schopností amorfního SiO₂ reagovat s Ca(OH)₂ za normálních teplot za vzniku hydratovaných křemičitanů vápenatých. [26]



Obr. 7 Snímek fluidního popílku z elektronového mikroskopu [34]

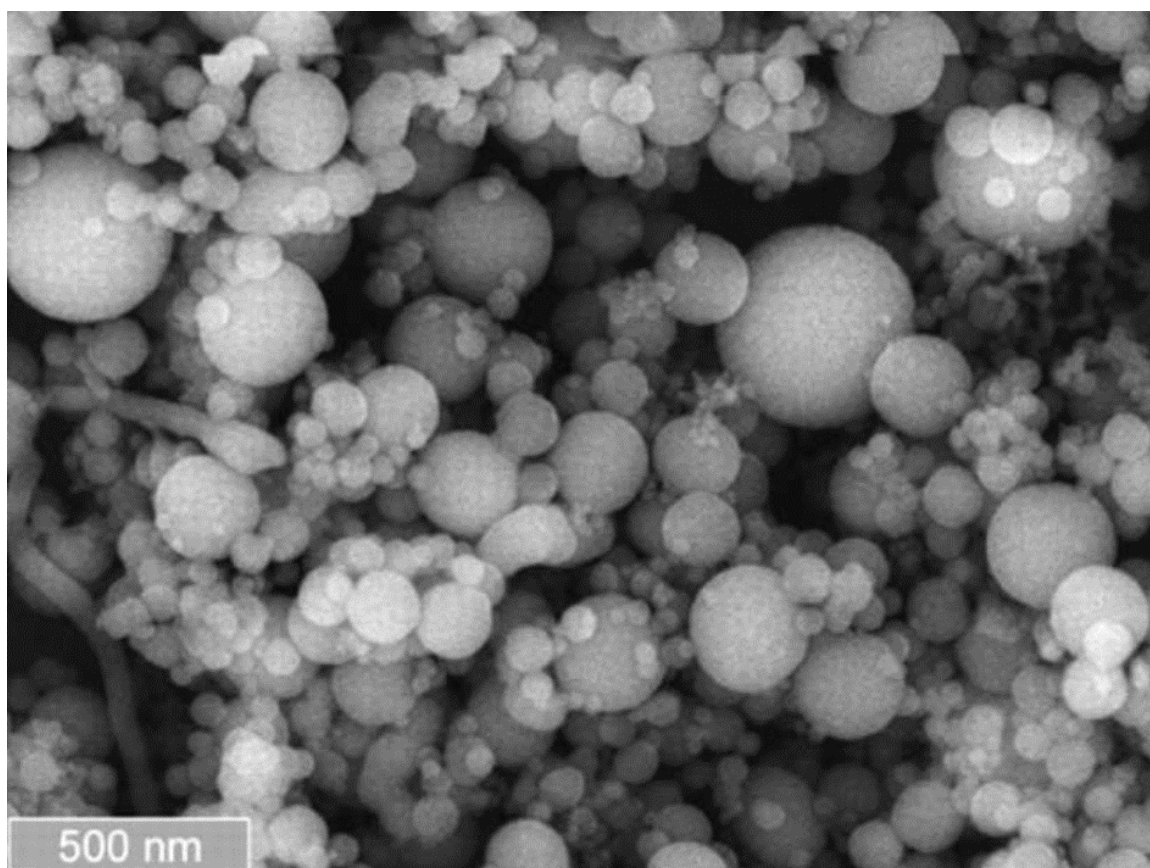
3.2.3 Mikrosilika

Jedná se o kondenzát křemičitých par vyznačující se velmi jemnou amorfni strukturou. Mikrosilika může být záměrně vyráběna nebo vzniká jako vedlejší produkt při výrobě přísad pro legování ocele, tzv. ferrosilicia. Materiál, který obsahuje sloučeniny křemíku, se taví v elektrické odporové peci a vznikají páry. Tyto páry se zachycují a kondenzují na kondenzátorech. [25]

Mikrosilika se vyznačuje velkým měrným povrchem s dobrými pucolánovými vlastnostmi. Může obsahovat až 98 % amorfního SiO₂ v kulatých zrnech, jejichž průměr je menší než 1 μm. Měrný povrch mikrosiliky se pohybuje od 20 000 – 60 000 m²/kg,

což má za následek vysokou reaktivitu. V roztoku portlanditu se mikrosilika rychle rozpouští za vzniku C-S-H gelu. U betonů mikrosilika zvyšuje pevnost, zlepšuje trvanlivost, snižuje náchylnost k alkalicko-křemičité reakci. Mikrosilika je využívána převážně do UHPC. Mikrosilika je dodávána ve formě kalů nebo ve formě suchého prášku. [31, 32]

Další možností využití mikrosiliky je ve výrobě keramických materiálů. Slisováním křemičitého úletu a oxidu hořečnatého a následným žíháním lze vyrobit žáruvzdorný materiál forsterit. [25]



Obr. 8 Snímek mikrosiliky z elektronového mikroskopu [34]

4. Struskové kamenivo

Struskové kamenivo vzniká pomalým ochlazením struskové taveniny, jedná se o nejstarší způsob zpracování vysokopeční strusky. Strusková tavenina se pomalu ochlazuje v rozsáhlých jámách, kam se lije po tenkých vrstvách, které jsou lehce chlazeny vodou. Takto vzniklá struska se vyznačuje převážně krystalickou fází. Po úplném

vykryštalování je ztuhlá struska z jámy mechanicky vytěžena. Po vytěžení je struska drcena na drtičích a pomocí magnetické separace jsou odstraněny kusy surového železa.

4.1 Popis struskového kameniva použitého v experimentu

Jedná se o struskové kamenivo, které pochází z firmy Destro s.r.o. Toto kamenivo bylo odebráno z běžné produkce společnosti, která jej distribuuje především jako kamenivo do nestmelených směsí, společnost však má zájem o jeho zpracování také do hydraulicky stmelených směsí. Firma Destro s.r.o. působí v Kladně, kde v oblasti bývalé haldy kladenských hutí leží její třídící linky. V roce 1998 dostala firma povolení k odtěžení a využití strusky z haldy Koněv, která dnes tvoří hlavní zdroj materiálu společnosti. [28]

Pro hydraulicky stmelené směsi se nejčastěji používá kamenivo tří frakcí (0-4, 4-8, 8-16) mm. Kamenivo je odtěžováno z haldy a v blízkosti se vyskytuje několik třídících a drtičích linek. Kamenivo je odtěžováno pomocí nakladačů a nákladními vozidly a dumpy je kamenivo dopraveno k násypce do třídící linky. Společnost Destro s.r.o. využívá třídící a drtičí linku Powerscreen Chieftain 1400. Po hrubém přetřídění prochází kamenivo kulovými a čelistovými drtiči. Po každé úpravě se provádí magnetická separace. [28]

4.2 Použití struskového kameniva v hydraulicky stmelených směsích

Vzhledem ke granulometrickým vlastnostem dosahují tři nejpoužívanější frakce dobrých tvarových vlastností a jsou vhodné pro použití v hydraulicky stmelených směsích. [28]

Dle objemové hmotnosti je možné toto kamenivo zařadit do hutného kameniva. Pórovitost tohoto kameniva se pohybuje kolem 19 % a nasákavost je kolem 4 %. Je proto nutno při návrhu směsi zohlednit zvýšenou nasákavost. V tomto kamenivu se vyskytuje zvýšený podíl železa a síry a oproti předpokladu i CaO, naproti tomu má kamenivo snížený obsah SiO₂. [28]

Index hmotnostní aktivity je zvýšený, proto se toto kamenivo nesmí používat v obytných místnostech s častým výskytem osob. [28]

5. Použité suroviny

V experimentu byly použity suroviny dostupné v Laboratoři stavebních hmot FAST, VŠB-TUO.

5.1 Vysokopecní granulovaná struska

Pro účely praktické části diplomové práce byla použita jemně mletá granulovaná vysokopecní struska. Tato struska se vyznačuje latentně hydraulickými vlastnostmi. Použita byla struska společnosti Kotouč Štramberk, spol. s.r.o. SMŠ 400, s měrným povrchem 400 m²/kg (Příloha 5). Procentuální zastoupení jednotlivých prvků získaná měření na fluorescenčním spektrometru jsou uvedena v tabulce Tab. 1. [38]

Tab. 1 Procentuální zastoupení chemických prvků ve strusce

VGS	
Oxid	Obsah [%]
CaO	40,0
SiO ₂	39,9
Al ₂ O ₃	6,9
MgO	8,9
SO ₃	0,6
Fe ₂ O ₃	0,4

5.2 Cement

Pro praktickou část práce byl použit portlandský cement ze společnosti Cement Hranice a.s. Konkrétní cement měl označení Supercement CEM I 42,5R. [40]

5.3 Záměsová voda

Byla použita pitná voda z vodovodního řadu. Tato voda se považuje dle normy ČSN EN 1008: Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, za vhodnou. [23]

5.4 Aktivátory

Jedná se o látky zásaditého charakteru, které do systému vnášejí alkalické prostředí, nutné pro nastartování hydratačních procesů vysokopecní granulované strusky. V experimentu bylo jako alkalický aktivátor použito upravené sodné vodní sklo.

5.4.1 Sodné vodní sklo

Jedná se o roztok křemičitanu sodného. Bylo použito vodní sklo od firmy EURO-Šarm spol. s r.o (Příloha 4). U tohoto vodního skla byl upraven silikátový modul pomocí 50 % roztoku hydroxidu sodného (Příloha 6) na hodnotu 2. [29]

Tab. 2 Složení sodného vodního skla

NaVS	MJ	Hodnota
Obsah SiO ₂	%	25 - 26
Obsah Na ₂ O	%	7 - 8
Molární poměr	-	3,2 - 3,5
Hustota	kg/m ³	1320 - 1350

5.5 Struskové kamenivo

V praktické části bylo použito struskové kamenivo tří frakcí (0-4, 4-8 a 8-16) mm, které bylo dodáno společností Destro s.r.o. Fyzikálně-mechanické, geometrické a chemické vlastnosti kameniva byly stanoveny, případně ověřeny v předchozích výzkumných pracích [28] na FAST, VŠB-TUO.

Tab. 3 Zrnitost struskového kameniva [28]

Frakce	Procentuální propad [%]										
Síto	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	0
0-4	100,0	100,0	99,9	91,6	51,8	29,1	17,8	11,5	7,3	2,5	0,0
4-8	100,0	100,0	86,4	1,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8-16	100,0	99,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0

Tab. 4 Základní fyzikálně-mechanické vlastnosti struskového kameniva [28]

Frakce	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Hustota [kg/m ³]	Pórovitost [%]	Nasákavost [%]
0-4	2500	2990	-	-
4-8	2500	2990	18,7	4,8
8-16	2510	2990	19,1	4,1

5.6 Přírodní kamenivo

V experimentu bylo použito těžené kamenivo Tovačov frakce 0-4 mm (Příloha 1) a přírodní drcené kamenivo Hrabůvka frakce 4-8 mm (Příloha 2) a 8-16 mm (Příloha 3).

5.7 Plastifikátor

Byl použit superplastifikátor na bázi vodného roztoku modifikovaných polykarboxylátů. Jedná se o vysoce účinný superplastifikátor s rychlým nárůstem počátečních pevností a prodlouženou zpracovatelností (Příloha 8). [39]

6. Pracovní postupy

V experimentální části byly použity normové postupy uvedené v následujících podkapitolách.

6.1 Příprava a ošetření zkušebních těles

Míchání směsí probíhalo v talířové míchačce. Po důkladném promíchání, se pomocí zednické lžice plní vymazané formy separačním olejem ve dvou vrstvách a každá vrstva je zhutněna na vibračním stolku. Poté je povrch tělesa uhlazen zednickou lžící.

Po odformování jsou označeny vzorky fixem a uloženy do kádě s vodou o teplotě $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, kde jsou ponechány až do odzkoušení. [6]

V experimentu byly použity formy o rozměrech (150 x 150 x 150) mm, (150 x 300) mm a (100 x 100 x 400) mm. [7]

6.1.1 Postup přípravy čerstvého betonu

Do míchačky se vsype navážené kamenivo, přidá se část záměsové vody a zapne se míchačka. Po důkladném promísení se míchačka vypne a přidá se cement se zbytkem záměsové vody. Po čtyřech minutách míchání se přidá do směsi plastifikátor a beton se míchá další čtyři minuty. Po důkladném promísení čerstvého betonu se beton plní do předem vymazaných forem.

6.1.2 Postup míchání čerstvé alkalicky aktivované hmoty

Do míchačky se vsype navážené kamenivo, přidá se část záměsové vody a zapne se míchačka. Po důkladném promísení se míchačka vypne a přidá se vysokopecní granulovaná struska se zbytkem záměsové vody. Po důkladném promísení se přidá do směsi aktivátor a směs se míchá čtyři minuty. Po důkladném promísení čerstvého alkalicky aktivovaného betonu se směs plní do předem vymazaných forem.

6.2 Objemová hmotnost čerstvého betonu

Pro stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu je použita forma o známém objemu. Zváží se prázdná forma a následně se forma plní ve dvou vrstvách. Naplněná forma se opět zváží. [8]

Objemová hmotnost ρ [kg/m^3] se vypočte ze vztahu (1):

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (1)$$

kde:	ρ	objemová hmotnost [kg/m^3],
	m_1	hmotnost prázdné nádoby [kg],
	m_2	hmotnost naplněné nádoby [kg],
	V	objem nádoby [m^3].

Výsledky se zaokrouhlí na nejbližších 10 kg/m^3 .

6.3 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Pro stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu se stanoví objem tělesa a následně se těleso zváží. [9]

Objemová hmotnost ρ [kg/m^3] se vypočte ze vztahu (2):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

kde:	ρ	objemová hmotnost [kg/m^3],
	m	hmotnost prázdné nádoby [kg],
	V	objem nádoby [m^3].

Výsledky se zaokrouhlí na nejbližších 10 kg/m^3 .

6.4 Zkouška sednutím

Forma a deska se navlhčí pomocí houby, forma se položí na vodorovnou desku a přišlápne se pomocí dvou příložek. Forma se plní ve třech vrstvách. Každá vrstva je zhutněna 25 vpichy propichovací tyče. Beton se uhladí s horním okrajem formy, následně se zvedne forma kužele svisle vzhůru. Forma se položí vedle na desku a změří se sednutí (rozdíl mezi formou a nejvyšším bodem sednutého kužele). [10]

Výsledky sednutí se zaokrouhlí na nejbližších 10 mm. [10]

6.5 Zkouška rozlitím

Střásací stolek se umístí na vodorovnou plochu a spolu s formou se navlhčí. Forma se plní ve dvou vrstvách, každá vrstva se zhutní deseti údery dřevěného dusadla. Beton se zarovná s horním okrajem formy, forma se poté zvedne. Přišlápne se spodní deska k podlaze a horní deska se zvedne k horní zarážce a následně se nechá volně spadnout. Tento cyklus se opakuje 15 krát. Poté se změří největší rozměr rozlitého betonu ve dvou na sebe kolmých směrech. [11]

Ze dvou hodnot se vypočítá průměrná hodnota a ta se zaokrouhlí na nejbližších 10 mm. [11]

6.6 Stupeň zhutnitelnosti

Forma se navlhčí a naplní se až po okraj bez hutnění. Beton se zarovná s horním okrajem formy tak, aby se zabránilo jeho hutnění. Poté se beton hutní pomocí vibračního stolku tak dlouho, až nejsou patrné změny objemu. Po ukončení hutnění se změří hodnota mezi horní hranou formy a povrchem zhutněného betonu. [12]

Stupeň zhutnitelnosti [-] se vypočte ze vztahu (3):

$$c = \frac{h}{h-s} \quad (3)$$

kde: c stupeň zhutnitelnosti [-],
h vnitřní výška nádoby [mm],
s průměrná hodnota čtyř vzdáleností mezi výškou formy
a povrchem betonu [kg].

Výsledek se zaokrouhlí na nejbližších 0,01. [12]

6.7 Stanovení vlivu výluhu z recyklovaného kameniva na počátek tuhnutí cementu

Zkoušené kamenivo se nechá vysušit při pokojové teplotě, poté se pomocí kvartace připraví zkušební navážka o hmotnosti (20 ± 1) kg. Připravená navážka se vsype do nádoby a přidá se voda tak, aby kamenivo bylo ponořené pod hladinou vody. Kamenivo je ve vodě umístěno tři hodiny a každou půl hodinu se promíchá. Poté se výluh přefiltruje přes filtrační papír do kádinky. [13]

Dle normy ČSN EN 196-3 se stanoví normální konzistence s vodou. Poté se připraví stejná směs s výluhem a následně se stanoví dle normy ČSN EN 196-3 počátek tuhnutí. [13]

Vliv výluhu v [min] se vypočte ze vztahu (4):

$$A = t_w - t_e \quad (4)$$

kde: A vliv výluhu [min],
t_w počátek tuhnutí směsi s vodou [min],
t_e počátek tuhnutí směsi s výluhem z kameniva [min]. [13]

6.8 Pevnost v příčném tahu

Pevnost v příčném tahu se stanovuje na krychelných tělesech o rozměrech (150x150x150) mm. Lis se osadí ocelovými segmenty tak, aby působily v ose tělesa. Je třeba zajistit, aby při zahájení zatěžování zůstalo těleso centrované. [14]

Pevnost v příčném tahu v [MPa] se vypočte ze vztahu (5):

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot F}{L \cdot \pi \cdot d} \quad (5)$$

kde:	f_{ct}	je pevnost v tahu příčném tahu [MPa],
	d	příčný rozměr tělesa [mm],
	F	je zatížení [N],
	L	délka dotykové přímky tělesa [mm].

Pevnost v tlaku se vyjádří jako aritmetický průměr ze série výsledků, kdy každý výsledek je vyjádřen s přesností 0,1 MPa. Odlišuje-li se jeden výsledek ze série o více než $\pm 10\%$ jejich průměrné hodnoty, tato hodnota se vyřadí a aritmetický průměr se vypočítá ze zbývajících výsledků série. Aritmetický průměr se vyjádří s přesností 0,1 MPa.

6.9 Pevnost v tlaku

Stanovení pevnosti v tlaku se provádělo na polovinách rozlomených trámů. Poloviny trámů jsou vkládány do lisu tak, aby zatížení, které působí na boční strany, bylo kolmé na směr plnění. Dále byla pevnost v tlaku zkoušena na krychlích (150x150x150) mm. U válcových těles byly nejdříve zabroušeny styčné plochy a až poté se stanovila pevnost v tlaku. Zatížení se zvyšuje plynulou rychlostí (0,2 – 1,0) MPa/s do porušení. [15]

Pevnost v tlaku f_c v [MPa] se vypočítá ze vztahu (6):

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (6)$$

kde: f_c je pevnost v tlaku [MPa],
 F je nejvyšší zatížení při porušení [N],
 A_c je plocha, na kterou působí zatížení [mm²].

Pevnost v tlaku se vyjádří jako aritmetický průměr ze série výsledků, kdy každý výsledek je vyjádřen s přesností 0,1 MPa. Odlišuje-li se jeden výsledek ze série o více než $\pm 10 \%$ jejich průměrné hodnoty, tato hodnota se vyřadí a aritmetický průměr se vypočítá ze zbývajících výsledků série. Aritmetický průměr se vyjádří s přesností 0,1 MPa.

6.10 Dynamický model pružnosti – ultrazvuková impulzová metoda

Za pomoci kalibračního válečku se provede kalibrace přístroje, v experimentu byl použit přístroj TICO od firmy Proceq. Prozvučení bylo prováděno na čtyřech označených místech, vlny se šířily v podélné ose vzorku. Měření se provádí v rozsahu 15 – 6550 μ s s rozlišením 0,1 μ s na frekvenci 54 kHz. Po prozvučení se zaznamenává čas průchodu vlny, která projde měřicí základnou. [16]

Čím vyšších hodnot dynamického modulu pružnosti materiál dosahuje, tím dosahuje materiál při stejném zatížení menších deformací. [43]

Dynamický modul pružnosti v tlaku (8) vypočtený pomocí rychlosti impulzu (7):

$$v_L = \frac{L}{T} \quad (7)$$

$$E_{cu} = \rho * v_L^2 * \frac{1}{k^2} \quad (8)$$

kde:	v_L	je rychlost impulzu v [km/s],
	L	je délka měřicí základny [mm],
	T	je čas, který uplyne při průběhu impulzu měřicí základnou [μs],
	E_{cu}	je dynamický modul pružnosti v tlaku [GPa],
	ρ	je objemová hmotnost [kg/m ³],
	k	je součinitel rozměrnosti prostředí, byl uvažován 1. [16]

6.11 Pevnost v tahu za ohybu čtyřbodovým ohybem

Stanovení pevnosti v tahu za ohybu probíhalo na trámčích o rozměrech (100x100x400) mm. Zatěžovací mechanismus se skládá ze dvou podpěrných válečků a dvou horních válečků, které jsou připojeny k příčnému závěsu (Obr. 9). Rychlost zatěžování je (0,04 – 0,06) MPa/s. [17]

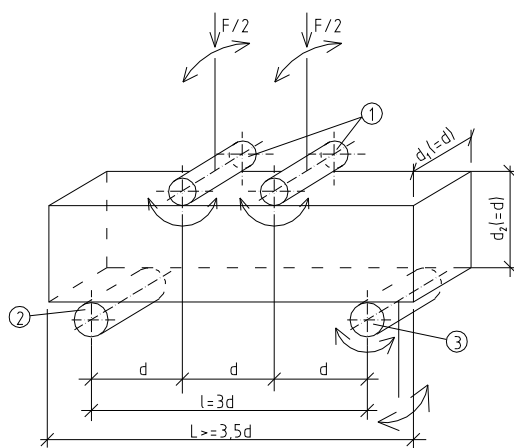
Pevnost v tahu za ohybu - čtyřbodový ohyb v [MPa] se vypočte ze vztahu (9):

$$f_{cf} = \frac{F * l}{d_1 * d_2^2} \quad (9)$$

kde:	f_{cf}	je pevnost v tahu ohybem v [MPa],
	F	je maximální zatížení v [N],
	l	je vzdálenost mezi podpěrnými válečky [mm],
	d_1 a d_2	jsou rozměry příčného řezu tělesa [mm].

Pevnost v tlaku se vyjádří jako aritmetický průměr ze série výsledků, kdy každý výsledek je vyjádřen s přesností 0,1 MPa. Odlišuje-li se jeden výsledek ze série o více

než $\pm 10 \%$ jejich průměrné hodnoty, tento se vyřadí a aritmetický průměr se vypočítá ze zbývajících výsledků série. Aritmetický průměr se vyjádří s přesností 0,1 MPa.



Obr.9 Schéma čtyřbodového ohybu [26]

6.12 Statický modul pružnosti v tlaku

Zkušební těleso se vloží do dostředného zkušebního lisu a osově se osadí měřicí čidla. Těleso se zatíží na základní napětí a zaznamenají se údaje. Zatížení se plynule zvyšuje s časovým nárůstem v tlaku $(0,6 \pm 0,4)$ MPa/s až do jedné třetiny pevnosti těles v tlaku. Toto napětí se udržuje po dobu 60 s. Poté dochází k odtěžování na základní napětí rychlostí stejnou jako při zatěžování. Po třech zatěžovacích cyklech se zkouška ukončí a vypočte se statický modul pružnosti v tlaku. [18]

Statický modul pružnosti v tlaku [GPa] (11):

$$\sigma_a = \frac{f_c}{3} \quad (10)$$

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} \quad (11)$$

- kde: σ_a je horní zatěžovací napětí v [MPa],
 σ_b je základní napětí (0,5 MPa) [MPa],
 ε_a je průměrné poměrné přetvoření u horního zatěžovacího napětí [-]
 ε_b je průměrné poměrné přetvoření u základního napětí [-]. [18]

6.13 Hloubka průsaku tlakovou vodou

Zkouška se provádí nejdříve po 28 dnech zrání. Těleso se do zařízení upne nechlazenou stranou, na kterou se nechá působit tlak (500 ± 50) kPa po dobu (72 ± 2) hodin. Povrch tělesa, na který působil vodní tlak, se otře a rozlomí se v polovině tak, aby strana, na níž působil tlak, byla umístěna dole. Až lomová plocha oschne, označí se hrana průsaku a změří se největší hloubka průsaku s přesností na milimetry. [19]

6.14 Stanovení mrazuvzdornosti betonu

Stanovení mrazuvzdornosti se provádí na krychlích o rozměrech $(150 \times 150 \times 150)$ mm. Podstatou zkoušky je střídání zmrazovacího a rozmrazovacího cyklu. Jeden cyklus se skládá ze čtyř hodin zmrazování a dvou hodin rozmrazování. Cyklování probíhá automaticky na teplotu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ při zmrazování a rozmrazování probíhá ve vodní lázni o teplotě $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po požadovaném počtu cyklů se tělesa odzkouší na pevnosti v tlaku. Následně se vypočte součinitel mrazuvzdornosti, což je poměr mezi pevnostmi po mrazuvzdornosti a pevnostmi těles, která byla po dobu cyklování uložena ve vodní lázni. Proveďte se taktéž výpočet procentuálního úbytku hmotnosti. [20]

6.15 Stanovení odolnosti povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek

Připravená betonová tělesa se vkládají do mrazáku s automatickým cyklováním. Jeden cyklus se skládá ze zmražení na $(-15 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 3 hodin a následného ohřátí na teplotu $(+5 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 3 hodin. Tělesa se ukládají do misek z nekorodujícího kovu, kde se zalijí do výšky (5 ± 1) mm 3% roztokem chloridu sodného. Po každém 25. cyklu se misky s tělesy vyjmou, tělesa se opatrně vyjmou z misky a pomocí stříčky se do misky spláchnou uvolněné částice. Přebytečná kapalina se opatrně vylije a pevné částice se zbytkem vody se přelijí do vysoušecí misky. Pevné částice se vysuší do ustálené hmotnosti při teplotě $(+105 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$. [21]

Hmotnost odpadu ρ_a v $[\text{g}/\text{m}^2]$ se vypočítá ze vztahu (12):

$$\rho_a = \frac{\Sigma m}{A} \quad (12)$$

kde: ρ_a je hmotnost odpadu $[\text{g}/\text{m}^2]$,

Σm je součet všech hmotnostních odpadů $[\text{g}]$,

A je plocha, na kterou působí chemické rozmrazovací látky $[\text{mm}^2]$. [21]

6.16 Rozpadavost struskového kameniva pařením v autoklávu

Pro zkoušku se použije kamenivo frakce 8/16 mm, zbaví se prachových částic, promyje se a následně se vysuší do ustálené hmotnosti. Do autoklávu se nalije voda o objemu jedné desetiny objemu autoklávu. Vzorek kameniva o objemu cca 1,5 l se nasype do koše a ten se vloží do autoklávu tak, aby dno bylo 20 mm nad hladinou vody. Autokláv se začne zahřívat s otevřeným ventilem do doby, než z něj začne unikat pára. Tlak v autoklávu dosáhne po 30 minutách zahřívání hodnotu $(0,20 \pm 0,005)$ MPa a na této hodnotě se tlak udrží po dobu 2 hodin, následně se po dobu 30 minut nechá klesnout na atmosférický tlak. Po vyjmutí kameniva z autoklávu se propere vodou a na síť s oky 4 mm se vysuší do ustálené hmotnosti. Výsledkem je hmotnostní úbytek stanovený propadem na síť 4 mm. [36]

Úbytek hmotnosti Q_s v $[\%]$ se vypočítá ze vztahu (13):

$$Q_s = \frac{G_1 - G_2}{G_1} * 100 \quad (13)$$

kde: Q_s je úbytek hmotnosti $[\%]$,

G_1 je hmotnost vzorku před zkouškou $[\text{g}]$,

G_2 je hmotnost vzorku po zkoušce $[\text{g}]$. [36]

6.17 Termická analýza

6.17.1 Termogravimetrie (TG)

Termogravimetrie je základní metoda termické analýzy, studuje změny hmotnosti, které probíhají v měřeném systému v závislosti na teplotě. Výsledkem je termogravimetrická křivka, která znázorňuje závislost hmotnosti na teplotě nebo na čase a lze z ní odečíst teploty hmotnostních změn. Odvozenou metodou je derivační termogravimetrie (DTG), kde výsledná křivka uvádí rychlost hmotnostní změny v závislosti na teplotě. [44]

6.17.2 Diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC)

Princip metody je v udržení stejné teploty studovaného a referenčního vzorku, které jsou zahřívány současně vedle sebe. Udržení nulového teplotního rozdílu se dosahuje buď dodáním energie do vzorku (pokud v něm probíhá endotermní děj) nebo do referenční látky (ve vzorku probíhá exotermní děj). [44]

6.18 Spektrometrie

Spektrometrie slouží k určení chemického složení pomocí spektrometru. Princip metody spočívá ve vyzařování rentgenového záření na vzorek, kdy dochází k excitaci jednotlivých elektronů. Rentgenová spektrometrie řeší pouze elektrony, které se po excitaci do virtuálního stavu vrátí do nižší vrstvy, než se nacházely před ozářením. Při pohybu mezi jednotlivými vrstvami dochází k vyzáření energie v podobě toku fotonů, na základě čehož přístroj analyzuje ze spektrální čáry chemické složení. [44]

6.19 Kalorimetrie

Principem kalorimetrie je měření tepla, které se uvolňuje nebo pohlcuje ve sledovaném systému při fyzikálním, chemickém nebo biologickém pochodu. Vyhodnocením jsou hodnoty termofyzikálních vlastností zkoumaného vzorku (tepelná kapacita, tepelný obsah). [44]

7. Experimentální část

Podstatou experimentu je ověření vlivu struskového kameniva na vlastnosti připravených kompozitů na bázi jak tradičních cementových pojiv, tak i u směsí na bázi alkalicky aktivované vysokopecní strusky.

Provedené zkoušky jsou součástí rozsáhlého experimentu, jenž si klade za cíl vyhodnotit možnost a především vhodnost tohoto kameniva do hydraulicky stmelených směsí.

Zkušební postupy se řídily příslušnými normami pro zkoušení betonu. Tělesa byla po přípravě jednotlivých směsí vyrobena, po dobu zrání uložena a následně testována vždy shodným způsobem u obou typů použitých pojiv.

Složení jednotlivých receptur použitých v rámci experimentu byla navržena na základě předchozích experimentálních prací na FAST, VŠB-TUO.

7.1 Směsi na bázi portlandského cementu

7.1.1 Struskobeton

Níže je uvedeno složení betonové směsi v objemu 1m^3 . Pro praktické účely byla směs vždy přepočtena na potřebné množství z hlediska připravovaného množství. V praktické části je tato směs označena jako struskobeton se zkratkou SB.

Receptura:	400	kg	CEM I 42,5R
	180	l	H ₂ O
	3,2	kg	Plastifikátor
	612	kg	Struskové kamenivo 0-4
	136	kg	Struskové kamenivo 4-8
	956	kg	Struskové kamenivo 8-16

7.1.2 Beton

Níže je uvedeno složení betonové směsi v objemu 1m^3 . Pro praktické účely byla směs vždy přepočtena na potřebné množství z hlediska připravovaného množství. V praktické části je tato směs označena jako beton se zkratkou B.

Receptura:	400	kg	CEM I 42,5R
	180	l	H ₂ O
	3,2	kg	Plastifikátor
	641	kg	Přírodní kamenivo 0-4
	145	kg	Přírodní kamenivo 4-8
	1021	kg	Přírodní kamenivo 8-16

U směsí s portlandským cementem byly jednotlivé hmotnosti frakcí kameniva vždy přepočteny dle objemových hmotností, aby byl zajištěn stejný poměr mezi pojivem a kamenivem.

7.2 Směs na bázi alkalicky aktivované vysokopecní strusky

7.2.1 Alkalicky aktivovaný struskobeton

Níže je uvedeno složení připravované směsi v objemu 1m^3 . Pro praktické účely byla směs vždy přepočtena na potřebné množství z hlediska připravovaného množství. V praktické části je tato směs označena jako alkalicky aktivovaný struskobeton se zkratkou AASB.

Receptura:	455	kg	VGS
	100	l	H ₂ O
	130	l	Aktivátor
	687	kg	Struskové kamenivo 0-4
	138	kg	Struskové kamenivo 4-8
	1057	kg	Struskové kamenivo 8-16

7.2.1 Alkalicky aktivovaný beton

Níže je uvedeno složení připravované směsi v objemu 1m^3 . Pro praktické účely byla směs vždy přepočtena z hlediska připravovaného množství. V praktické části je tato směs označena jako alkalicky aktivovaný beton se zkratkou AAB.

Receptura:	455	kg	VGS
	100	l	H ₂ O
	130	l	Aktivátor
	687	kg	Přírodní kamenivo 0-4
	138	kg	Přírodní kamenivo 4-8
	1057	kg	Přírodní kamenivo 8-16

U alkalicky aktivovaných směsí byly, vzhledem k chybějícím znalostem chování pojivové složky hmoty u některých plánovaných experimentů, u obou typů kameniva ponechány stejné hodnoty hmotností jednotlivých frakcí, aby bylo jednodušší sledovat vliv daného typu kameniva na konečné vlastnosti kompozitu.

7.3 Vlastnosti čerstvých směsí

7.3.1 Vlastnosti čerstvých směsí se struskovým kamenivem

Výsledky:

Výsledné hodnoty objemové hmotnosti čerstvé směsi, stupně zhutnitelnosti, rozlití a sednutí u struskového kameniva jsou uvedeny v tabulce (Tab. 5). Jednotlivé výsledky jsou zobrazeny na obrázcích (Obr. 10 - 12).

Tab. 5 Výsledné vlastnosti čerstvých směsí se struskovým kamenivem

Typ zkoušky	AASB		SB	
	Hodnota	Vyhodnocení	Hodnota	Vyhodnocení
Rozlití [mm]	250	F1→ směs tuhá	240	F1→ směs tuhá
Sednutí [mm]	40	S0→směs velmi tuhá	40	S0→směs velmi tuhá
Stupeň zhutnitelnosti [-]	1,48	C0→směs velmi tuhá	1,16	C2→směs plastická
Objemová hmotnost [kg/m^3]	2460		2380	



Obr.10 Zkouška rozlitím u AASB



Obr.11 Zkouška sednutí kužele u SB



Obr.12 Stanovení stupně zhutnitelnosti u SB

7.3.2 Vlastnosti čerstvých směsí s přírodním kamenivem

Výsledky:

Výsledné hodnoty objemové hmotnosti čerstvé směsi, stupně zhutnitelnosti, rozlití a sednutí u přírodního kameniva jsou uvedeny v tabulce (Tab. 6). Jednotlivé výsledky jsou zobrazeny na obrázcích (Obr. 13 - 14).

Tab. 6 Výsledné vlastnosti čerstvých směsí s přírodním kamenivem

Typ zkoušky	AAB		B	
	Hodnota	Vyhodnocení	Hodnota	Vyhodnocení
Rozlití [mm]	400	F2→ směs plastická	400	F2→ směs plastická
Sednutí [mm]	20	S4→směs velmi tuhá	20	S3→směs velmi tuhá
Stupeň zhutnitelnosti [-]	1,40	C1→směs tuhá	1,14	C2→směs plastická
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2470		2390	



Obr.13 Stanovení rozlití u B



Obr.14 Zkouška sednutí kužele u B

7.3.3 Vyhodnocení čerstvých směsí

Výsledné vlastnosti čerstvých směsí jsou ovlivněny jejich návrhem, v němž je zvýšený podíl frakce 8-16 a nižší podíl frakce 0-4. Vzhledem k tomuto faktu tvoří nosnou kostru směsi frakce 8-16 a ve směsi nejsou v dostatečném množství zastoupeny jemné částice, které by směsi zajistily dostatečnou pohyblivost. Z tohoto důvodu bylo zjištěno u všech sledovaných směsí při stanovení sednutí, že se jedná o směsi velmi tuhé.

U zkoušky rozlitím byl rozdíl mezi přírodním a struskovým kamenivem již zřejmý. Hlavní rozdíl je ve frakci 0-4 mm, kde u přírodního kameniva je tato frakce těžená, zatímco u struskového kameniva je tato frakce drcená. Těžené kamenivo umožňuje směsi lepší pohyblivost, tudíž směsi s přírodním kamenivem byly plastičtější.

U hmot na bázi alkalicky aktivovaných materiálů je stanovení stupně zhutnitelnosti zkouškou na hraně použitelnosti. U těchto směsí dochází při vibraci k velkému ztekucení, což má za následek kvalitní zhutnění i u velmi tuhých směsí.

Objemová hmotnost čerstvé směsi AASB činí 2460 kg/m^3 a u SB bylo dosaženo objemové hmotnosti 2380 kg/m^3 . Objemová hmotnost čerstvé směsi AAB byla 2470 kg/m^3 a u B bylo dosaženo objemové hmotnosti 2390 kg/m^3 , objemové hmotnosti připravených hmot se tedy liší jen minimálně.

7.4 Fyzikálně mechanické vlastnosti na trámcových tělesech

V následující kapitole jsou popsány jednotlivé výsledné hodnoty u čtyř směsí, dosažené při zkoušení trámcových těles.

7.4.1 Fyzikálně mechanické vlastnosti u AASB

Výsledky:

Naměřené hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu u AASB směsi po 7, 14, 28, 60, 90 a 120 dnech jsou uvedeny v tabulce (Tab. 7). Vzorky po stanovení pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu jsou na obrázcích (Obr. 15 - 16).

Tab. 7 Výsledné hodnoty AASB na trémecích

AASB - trémec				
OZN.	Stáří	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu
Jednotky	Dny	[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]
AASB7	7	2380	30,0	2,6
AASB14	14	2370	38,7	5,2
AASB28	28	2380	63,8	6,6
AASB60	60	2390	73,9	7,5
AASB90	90	2390	74,2	7,7
AASB120	120	2380	78,2	7,8

Objemové hmotnosti u této směsi se pohybují od 2370 kg/m³ do 2390 kg/m³. U pevnosti v tahu za ohybu je zřejmý pomalý nárůst pevnosti v prvních dnech. Největší nárůst pevnosti je do 28 dnů zrání, poté pevnosti rostou již jen zvolna. Výsledné pevnosti se pohybují kolem 7,5 MPa. U pevnosti v tlaku je dosaženo relativně vysokých pevností již po 7 dnech zrání. Pevnosti v tlaku po celou dobu rostou a finální pevnosti se pohybují kolem 78 MPa.



Obr.15 Trámcové těleso u AASB po zkoušce pevnosti v tlaku



Obr.16 Trámcové těleso u AASB u zkoušky pevnosti v tahu za ohybu

7.4.2 Fyzikálně mechanické vlastnosti u SB

Výsledky:

Naměřené hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu u SB směsi po 7, 14, 28, 60, 90 a 120 dnech jsou uvedeny v tabulce (Tab. 8). Vzorky po stanovení pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu jsou na obrázcích (Obr. 17 - 18).

Tab. 8 Výsledné hodnoty SB na trámcích

SB - trámec				
OZN.	Stáří	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu
Jednotky	Dny	[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]
SB7	7	2440	65,3	9,9
SB14	14	2460	74,3	10,2
SB28	28	2480	78,1	10,1
SB60	60	2420	77,9	10,0
SB90	90	2420	78,3	10,0
SB120	120	2420	82,9	10,0

Objemové hmotnosti u této směsi se pohybují od 2420 kg/m³ do 2480 kg/m³. U pevnosti v tahu za ohybu je zřejmý velmi rychlý nárůst pevnosti, kdy již takřka po 7 dnech zrání je dosaženo finálních pevností. Výsledné pevnosti se pohybují kolem 10 MPa. Největší nárůst pevnosti v tlaku je již během prvních dnů zrání, po 7 dnech pevnosti rostou již zvolna. Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku se pohybují kolem 83 MPa.



Obr.17 Trámcové těleso u SB u zkoušky pevnosti v tahu za ohybu



Obr.18 Trámcové těleso u SB po zkoušce pevnosti v tlaku

7.4.3 Fyzikálně mechanické vlastnosti u AAB

Výsledky:

Naměřené hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu u AAB směsi po 7, 14, 28, 60, 90 a 120 dnech zrání jsou uvedeny v tabulce (Tab. 9). Vzorky po stanovení pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu jsou na obrázcích (Obr. 19 - 20).

Tab. 9 Výsledné hodnoty AAB na trámci

AAB - trámec				
OZN.	Stáří	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu
Jednotky	Dny	[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]
AAB7	7	2410	53,3	5,6
AAB14	14	2380	66,0	7,6
AAB28	28	2380	77,4	7,6
AAB60	60	2400	82,7	8,3
AAB90	90	2360	87,5	9,3
AAB120	120	2360	89,2	9,5

Objemové hmotnosti u této směsi se pohybují od 2360 kg/m³ do 2410 kg/m³. U pevnosti v tahu za ohybu dochází k největšímu nárůstu pevností během prvních 14 dnů zrání. Výsledné pevnosti v tahu za ohybu po 90 dnech zrání se pohybují kolem 9,5 MPa. U pevnosti v tlaku je dosaženo vysokých hodnot již po 7 dnech zrání. Po 28 dnech zrání rostou pevnosti v tlaku již zvolna, konečné pevnosti se pohybují kolem 89 MPa.



Obr.19 Trámcové těleso u AAB u zkoušky pevnosti v tahu za ohybu



Obr.20 Trámcové těleso u AAB po zkoušce pevnosti v tlaku

7.4.4 Fyzikálně mechanické vlastnosti u B

Výsledky:

Naměřené hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu u B směsi po 7, 14, 28, 60, 90 a 120 dnech jsou uvedeny v tabulce (Tab. 10). Vzorky po stanovení pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu jsou na obrázcích (Obr. 21 - 22).

Tab. 10 Výsledné hodnoty B na trámcích

B - trámec				
OZN.	Stáří	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu
Jednotky	Dny	[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]
B7	7	2450	73,4	9,5
B14	14	2410	73,8	9,8
B28	28	2420	78,5	10,2
B60	60	2440	86,6	10,7
B90	90	2450	91,0	12,0
B120	120	2450	92,1	12,0

Objemové hmotnosti u této směsi se pohybují od 2410 kg/m³ do 2450 kg/m³. U pevnosti v tahu za ohybu je zřejmý velmi rychlý nárůst pevnosti, kdy již po 7 dnech zrání je dosaženo finálních pevností. Výsledná hodnota pevnosti v tahu za ohybu dosáhla 12 MPa. Největší nárůst pevnosti v tlaku je již během prvních dnů zrání, po 7 dnech pevnosti rostou již jen zvolna. Výsledné hodnoty se pohybují kolem 92 MPa.



Obr.21 Trámcové těleso u B u zkoušky pevnosti v tahu za ohybu



Obr.22 Trámcové těleso u B po zkoušce pevnosti v tlaku

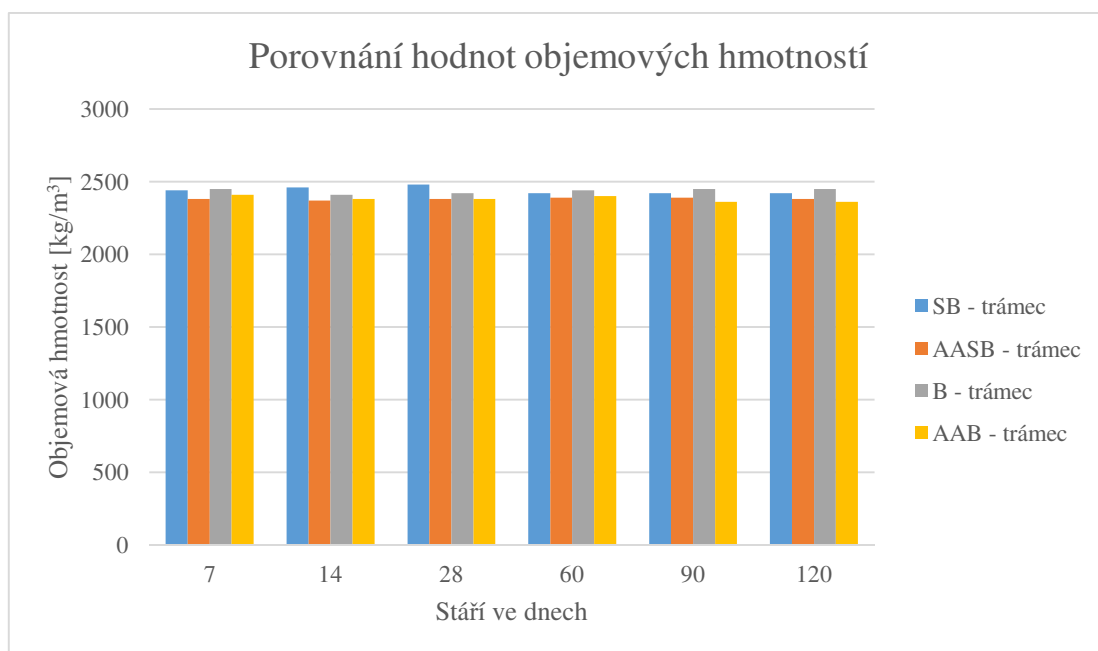
7.4.5 Vyhodnocení trámcových těles

Zobrazení hodnot objemových hmotností u jednotlivých směsí v závislosti na stáří vzorku jsou na Obr. 23. Vyšších hodnot objemových hmotností bylo dosaženo u směsí na bázi portlandského cementu než u směsí na bázi alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky. Vliv struskového kameniva na objemové hmotnosti jednotlivých směsí se výrazně neprojevil, i když struskové kamenivo má nižší objemovou hmotnost než přírodní kamenivo.

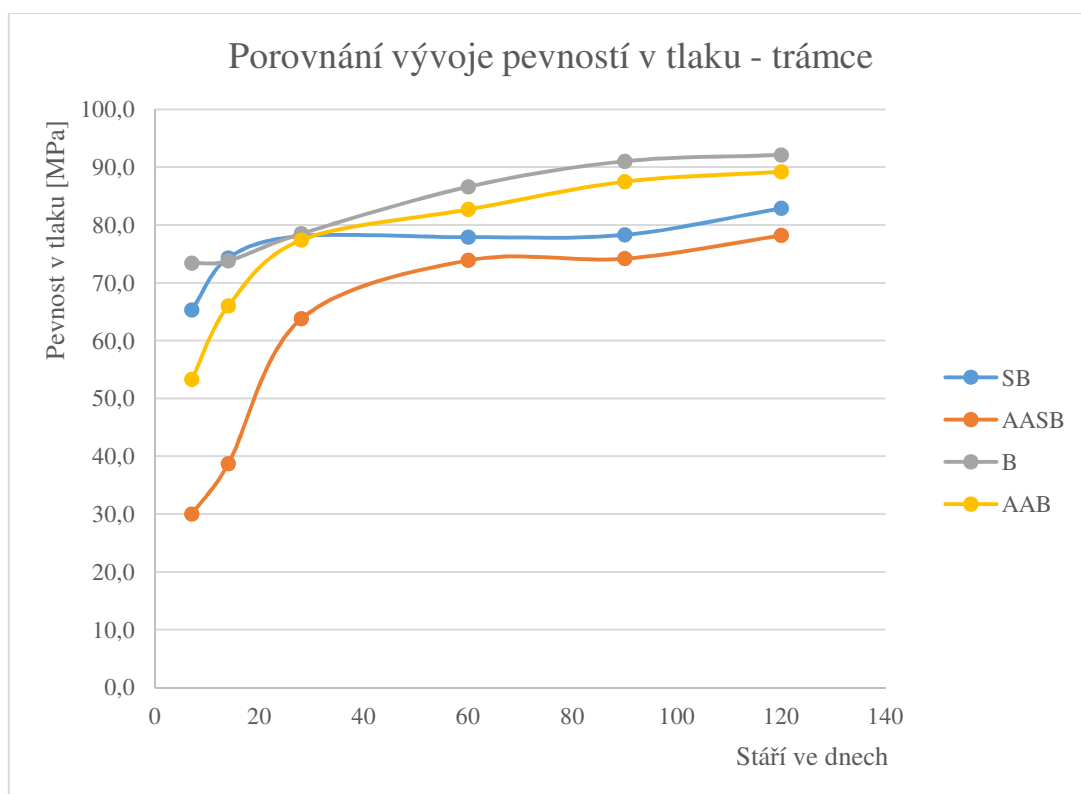
Pevnosti v tlaku jsou znázorněny na Obr. 24. Z grafu je patrný výrazný rozdíl ve vývoji počátečních pevností, mezi směsmi na bázi portlandského cementu a alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky. Směsi s portlandským cementem mají rychlý nárůst pevností a po 7 dnech zrání pevnosti rostou již jen pozvolna. U směsí na bázi alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky je vývoj pevností pomalejší, největší přírůstky pevností jsou do 28 dnů zrání, poté rostou pevnosti už pozvolna. U alkalicky aktivovaných směsí se rozdíl mezi struskovým a přírodním kamenivem drží po celou dobu sledovaných pevností kolem 12 MPa (kromě počátečních hodnot, kdy po 7 dnech zrání činil rozdíl pevností cca 23 MPa). Zatímco u směsí s portlandským cementem je dosaženo po 28 dnech zrání takřka stejných pevností u obou směsí. Zde se vliv struskového kameniva projevil až v dlouhodobějších, 60-ti a 90-ti denních pevnostech, kdy výsledný rozdíl činí vždy cca 10 MPa. Rozdíly směsí s přírodním kamenivem u obou sledovaných typů pojiv jsou z hlediska dlouhodobých pevností minimální. U struskového kameniva je taktéž rozdíl ve finálních pevnostech u obou sledovaných kompozitů minimální.

Pevnosti v tahu za ohybu jsou znázorněny na Obr. 24. Z grafu je patrný rozdíl ve vývoji pevností mezi směsmi na bázi portlandského cementu a alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky. Směsi s portlandským cementem mají rychlejší nárůst pevností a po 7 dnech zrání pevnosti rostou již pozvolna. U směsí na bázi alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky je vývoj pevností pomalejší, největší přírůstky pevností jsou do 28 dnů zrání, poté rostou pevnosti jen pozvolna. U alkalicky aktivovaných směsí bylo po celou dobu sledování pevností dosaženo vyšších pevností u přírodního kameniva než u struskového kameniva, zatímco u směsí s portlandským cementem dosahovaly pevnosti se struskovým kamenivem u 7 a 14 -ti denních pevností vyšších hodnot, než u přírodního kameniva. U dlouhodobějších pevností bylo vyšších hodnot dosaženo u přírodního kameniva. Rozdíly ve výsledných pevnostech v tahu

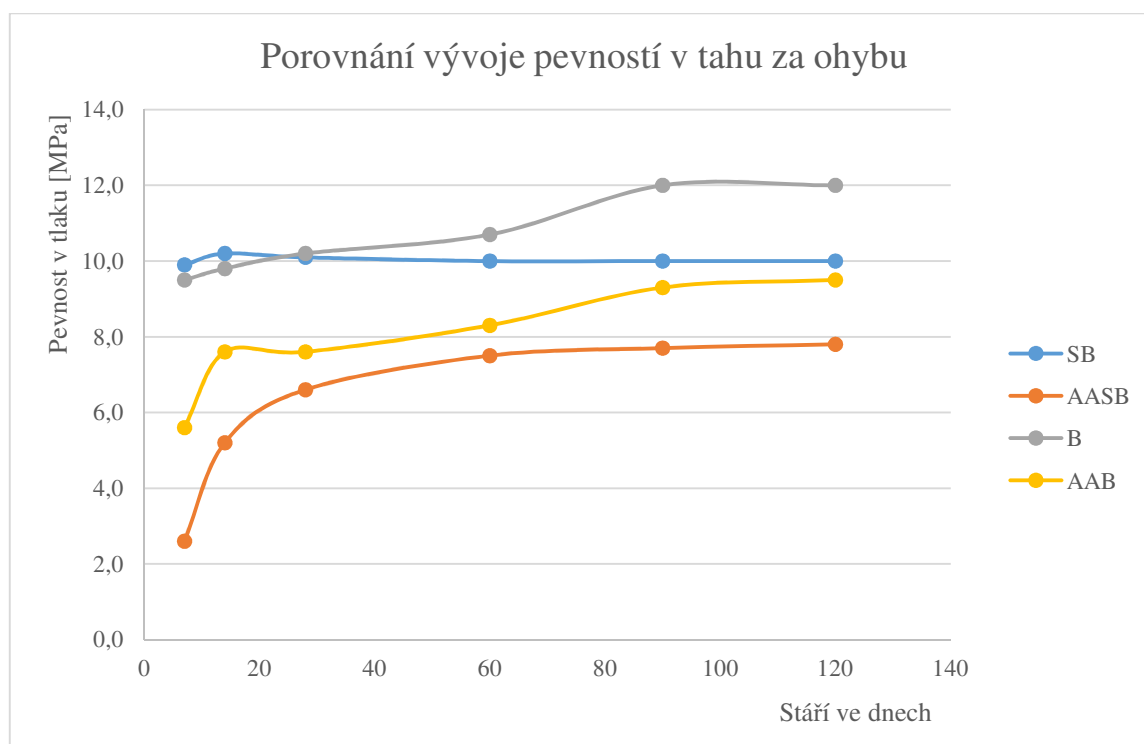
za ohybu mezi přírodním a struskovým kamenivem činí u obou sledovaných kompozitů do 2 MPa, kdy struskové kamenivo snižuje výsledné pevnosti v tahu o cca 15 - 25 %.



Obr.23 Znáznornění jednotlivých hodnot objemových hmotností u trámcových těles



Obr.24 Znáznornění hodnot pevnosti v tlaku u trámcových těles



Obr.25 Znázornění hodnot pevnosti v tahu za ohybu u trámcových těles

7.5 Fyzikálně mechanické vlastnosti na krychelných tělesech

V následující kapitole jsou popsány jednotlivé hodnoty dosažené na krychlích o rozměrech (150x150x150) mm.

7.5.1 Fyzikálně mechanické vlastnosti u AASB

Výsledky:

Naměřené hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku u AASB směsi po 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120 a 210 dnech a pevnosti v příčném tahu po 28 a 90 dnech jsou uvedeny v tabulce (Tab. 11). Vzorky po stanovení pevnosti v tlaku jsou na obrázku (Obr. 26).

Tab. 11 Výsledné hodnoty AASB a krychlích

AASB - krychle				
OZN.	Stáří	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Pevnost v příčném tahu
Jednotky	Dny	[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]
AASB3	3	2360	3,5	-
AASB7	7	2350	17,0	-
AASB14	14	2370	46,5	-
AASB28	28	2360	63,5	3,6
AASB60	60	2390	72,1	-
AASB90	90	2370	77,5	4,0
AASB120	120	2340	81,7	-
AASB210	210	2370	84,2	-

Objemové hmotnosti stanovené na krychlích se u této směsi pohybují od 2350 kg/m³ do 2390 kg/m³. U pevnosti v tlaku je zřetelný velmi pomalý nárůst pevností. Největší přírůstky pevností jsou do 28 dnů zrání, poté rostou pevnosti již jen zvolna. Finální pevnosti v tlaku se pohybují kolem 84 MPa. Pevnost v příčném tahu po 28 dnech se pohybuje kolem 3,5 MPa a po 90 dnech tato pevnost vzrostla na hodnotu kolem 4,0 MPa.



Obr.26 Krychelné těleso u AASB po zkoušce pevnosti v tlaku

7.5.2 Fyzikálně mechanické vlastnosti u SB

Výsledky:

Naměřené hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku u SB směsi po 3, 7, 14, 28, 60, 90 120 a 210 dnech a pevnosti v příčném tahu po 28 a 90 dnech jsou uvedeny v tabulce (Tab. 12). Vzorky po stanovení pevnosti v tlaku jsou na obrázku (Obr. 27).

Tab. 12 Výsledné hodnoty SB na krychlích

SB - krychle				
OZN.	Stáří	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Pevnost v příčném tahu
Jednotky	Dny	[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]
SB3	3	2400	65,4	-
SB7	7	2410	72,8	-
SB14	14	2460	77,3	-
SB28	28	2450	79,2	4,7
SB60	60	2420	82,7	-
SB90	90	2400	83,7	4,8
SB120	120	2420	84,1	-
SB210	210	2420	90,0	-

Objemové hmotnosti u této směsi se pohybují od 2400 kg/m³ do 2460 kg/m³. U pevnosti v tlaku je velmi rychlý nárůst pevností již během prvních dnů zrání. Po 7 dnech zrání jsou přírůstky pevností již jen minimální. Pevnosti v tlaku po celou dobu rostou a finální pevnosti se pohybují kolem 90 MPa. Pevnost v příčném tahu po 28 dnech se pohybuje kolem 4,7 MPa a po 90 dnech se tato pevnost takřka nezměnila a dosáhla hodnoty 4,8 MPa.



Obr.27 Krychelné těleso u SB po zkoušce pevnosti v tlaku

7.5.3 Fyzikálně mechanické vlastnosti u AAB

Výsledky:

Naměřené hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku u AAB směsi po 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120 a 210 dnech a pevnosti v příčném tahu po 28 a 90 dnech jsou uvedeny v tabulce (Tab. 13). Vzorky po stanovení pevnosti v tlaku jsou na obrázku (Obr. 28).

Tab. 13 Výsledné hodnoty AAB na krychlích

AAB - krychle				
OZN.	Stáří	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Pevnost v příčném tahu
Jednotky	Dny	[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]
AAB3	3	2360	38,2	-
AAB7	7	2360	46,7	-
AAB14	14	2380	58,4	-
AAB28	28	2380	74,9	4,3
AAB28	60	2370	82,3	-
AAB90	90	2380	88,6	5,1
AAB120	120	2380	89,1	-
AAB210	210	2370	89,5	-

Objemové hmotnosti u této směsi se pohybují od 2360 kg/m^3 do 2380 kg/m^3 . U pevnosti v tlaku je oproti AASB rychlý vývoj pevností. Největší přírůstky pevností jsou do 28 dnů zrání, poté pevnosti rostou již zvolna. Výsledné pevnosti v tlaku po 210 dnech se pohybují kolem $89,5 \text{ MPa}$. Pevnost v příčném tahu po 28 dnech se pohybuje kolem $4,3 \text{ MPa}$ a po 90 dnech tato pevnost vzrostla na hodnotu $5,1 \text{ MPa}$.



Obr.28 Krychelné těleso u AAB po zkoušce pevnosti v tlaku

7.5.4 Fyzikálně mechanické vlastnosti u B

Výsledky:

Naměřené hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku u B směsi po 3, 7, 14, 28, 60, 90 a 120 dnech a pevnosti v příčném tahu po 28 a 90 dnech jsou uvedeny v tabulce (Tab. 14). Vzorky po stanovení pevnosti v tlaku jsou na obrázku (Obr. 29).

Tab. 14 Výsledné hodnoty B na krychlích

B - krychle				
OZN.	Stáří	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Pevnost v příčném tahu
Jednotky	Dny	[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]
B3	3	2410	63,2	-
B7	7	2450	66,2	-
B14	14	2410	71,2	-
B28	28	2440	78,5	5,9
B60	60	2430	78,6	-
B90	90	2410	81,0	4,7
B120	120	2410	82,9	-
B210	210	2420	83,2	-

Objemové hmotnosti u této směsi se pohybují od 2410 kg/m³ do 2450 kg/m³. U pevnosti v tlaku je viditelný rychlý nárůst pevností již během prvních dnů zrání. Po 7 dnech zrání jsou přírůstky pevností jen minimální. Pevnosti v tlaku po celou dobu rostou a finální pevnosti se pohybují kolem 83 MPa. Pevnost v příčném tahu po 28 dnech se pohybuje kolem 6 MPa a po 90 dnech byla zjištěna hodnota 4,7 MPa.



Obr.29 Krychelné těleso u B po zkoušce pevnosti v tlaku

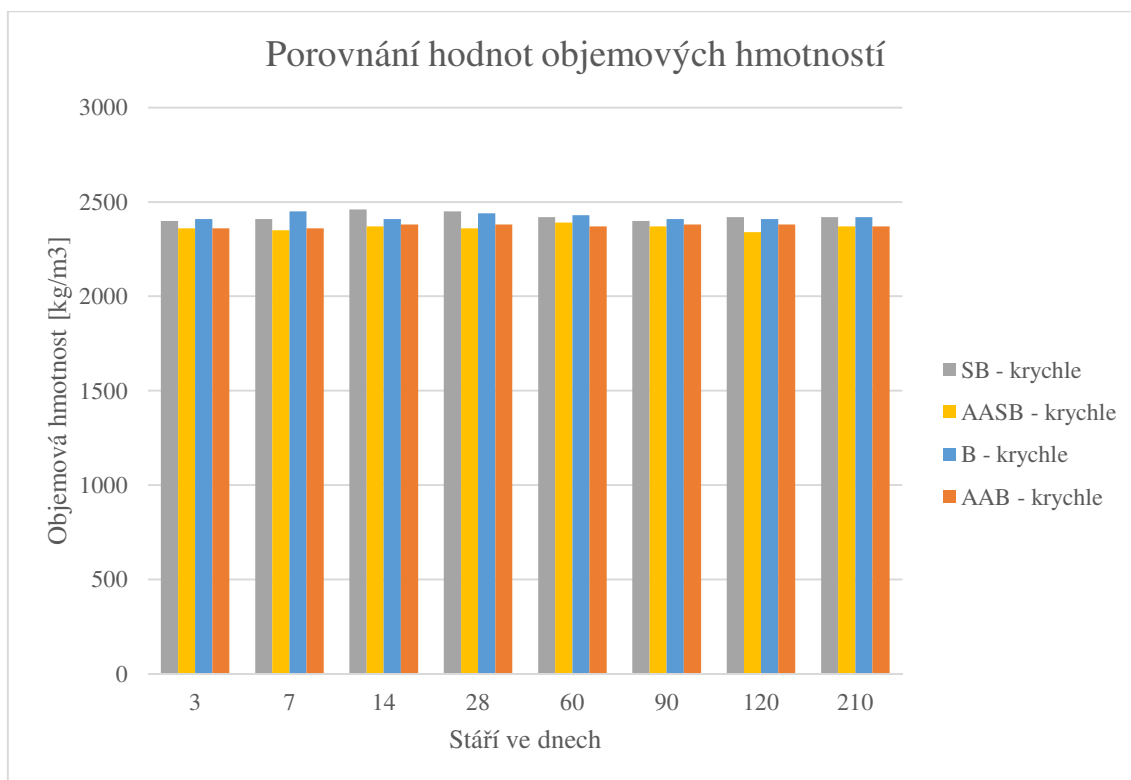
7.5.5 Vyhodnocení krychelných těles

Zobrazení hodnot objemových hmotností u jednotlivých směsí v závislosti na stáří vzorků jsou na Obr. 30. Vyšších hodnot objemových hmotností bylo dosaženo u směsí na bázi portlandského cementu než u směsí na bázi alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky. Vliv struskového kameniva na objemové hmotnosti jednotlivých směsí se výrazně neprojevil.

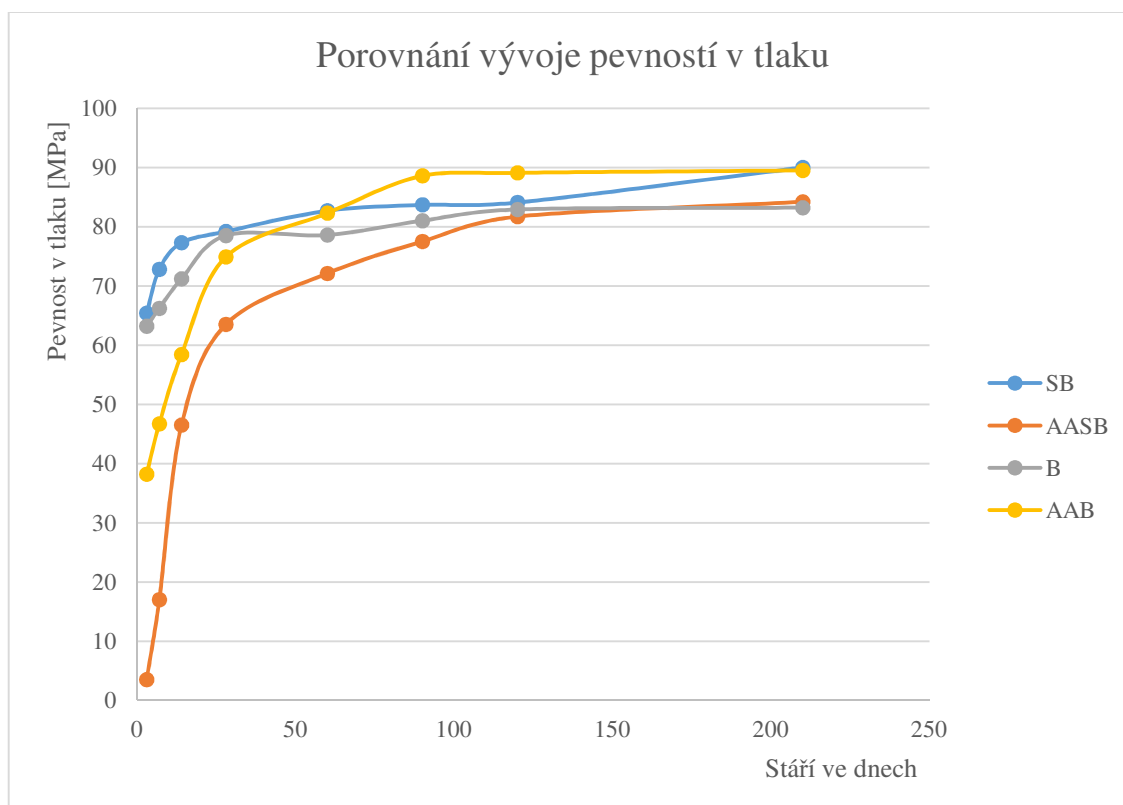
Pevnosti v tlaku jsou znázorněny na Obr. 31. Z grafu je patrný rozdíl ve vývoji pevností, mezi směsmi na bázi portlandského cementu a alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky. U směsí s portlandským cementem je zřejmý rychlý růst pevností během prvních 7 dní zrání a poté pevnosti rostou již pozvolna. U směsí na bázi alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky je vývoj pevností pomalejší, největší přírůstky pevností jsou do 28 dnů zrání. U alkalicky aktivovaných směsí je největší rozdíl mezi struskovým a přírodním kamenivem v prvních dnech zrání, kdy se pevnosti u kompozitů liší až o cca 30 MPa. Po 14 dnech zrání se rozdíl pevností mezi jednotlivými kamenivy snižuje a výsledný rozdíl v pevnostech po 210 dnech se pohybuje kolem 5 MPa. U směsí s portlandským cementem hodnoty pevností u obou sledovaných kameniv vycházejí takřka shodně, vyšších hodnot je dosaženo u struskového kameniva. Finální pevnosti u všech sledovaných kompozitů se po 210 dnech zrání lišily do max 8 MPa, pohybovaly se v rozmezí 80 - 90 MPa. Vliv struskového kameniva je zřejmý především v kompozitu na bázi alkalicky aktivované strusky, kdy výrazným způsobem ovlivňuje krátkodobé pevnosti.

Na tělesech, která byla testována na pevnosti po 90-ti a více dnech zrání, se průběžně vizuálně sledoval případný výskyt poškození vzorků v důsledku objemových změn kameniva, ale ani při stáří těles 210 dní nebyly viditelné žádné poruchy. Pro samotné testování kameniva v rámci experimentu byla provedena zkouška rozpadavosti v autoklávu viz kapitola 7.12.

Nejvyšší hodnoty u pevnosti v příčném tahu bylo dosaženo u betonu po 28 dnech zrání (5,9 MPa), po 90 dnech zrání však byla naměřena hodnota jen 4,7 MPa. Po 90 dnech zrání bylo dosaženo nejvyšší pevnosti u alkalicky aktivovaného betonu s hodnotou 5,1 MPa. U kompozitů na bázi portlandského cementu bylo dosaženo stejných hodnot u obou sledovaných kameniv, tato hodnota se pohybovala kolem 4,8 MPa. U alkalicky aktivovaných systémů bylo dosaženo nižších hodnot pevností u struskového kameniva oproti přírodnímu kamenivu o cca 1 MPa.



Obr.30 Znázornění jednotlivých hodnot objemových hmotností u krychelných těles



Obr.31 Znázornění hodnot pevnosti v tlaku u krychelných těles

7.6 Fyzikálně mechanické vlastnosti na válcových tělesech

Výsledky:

Naměřené hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku, statického a dynamického modulu pružnosti u SB a AASB směsí po 28 a 90 a u AAB a B směsí po 28 dnech jsou uvedeny v tabulce (Tab. 15). Výsledky jsou graficky znázorněny na (Obr. 32 - 34). Vzorek při stanovení statického modulu pružnosti je zobrazen na obrázku (Obr. 35). Pro testování 90-ti denních pevností byly připraveny pouze vzorky se struskovým kamenivem, na kterých bylo orientačně sledováno, zda u těles nedojde k zřejmému poškození v důsledku případných objemových změn struskového kameniva.

Tab. 15 Výsledné hodnoty všech směsí na válcových tělesech

Válcová tělesa					
OZN.	Stáří	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Dynamický modul pružnosti	Statický modul pružnosti
Jednotky	Dny	[kg/m ³]	[MPa]	[GPa]	[GPa]
AASB28	28	2370	55,8	46,7	28,1
SB28	28	2410	71,0	53,8	35,9
AAB28	28	2390	62,5	47,6	29,2
B28	28	2430	65,8	54,0	33,9
AASB90	90	2400	70,5	50,4	33,4
SB90	90	2420	73,4	53,7	34,4

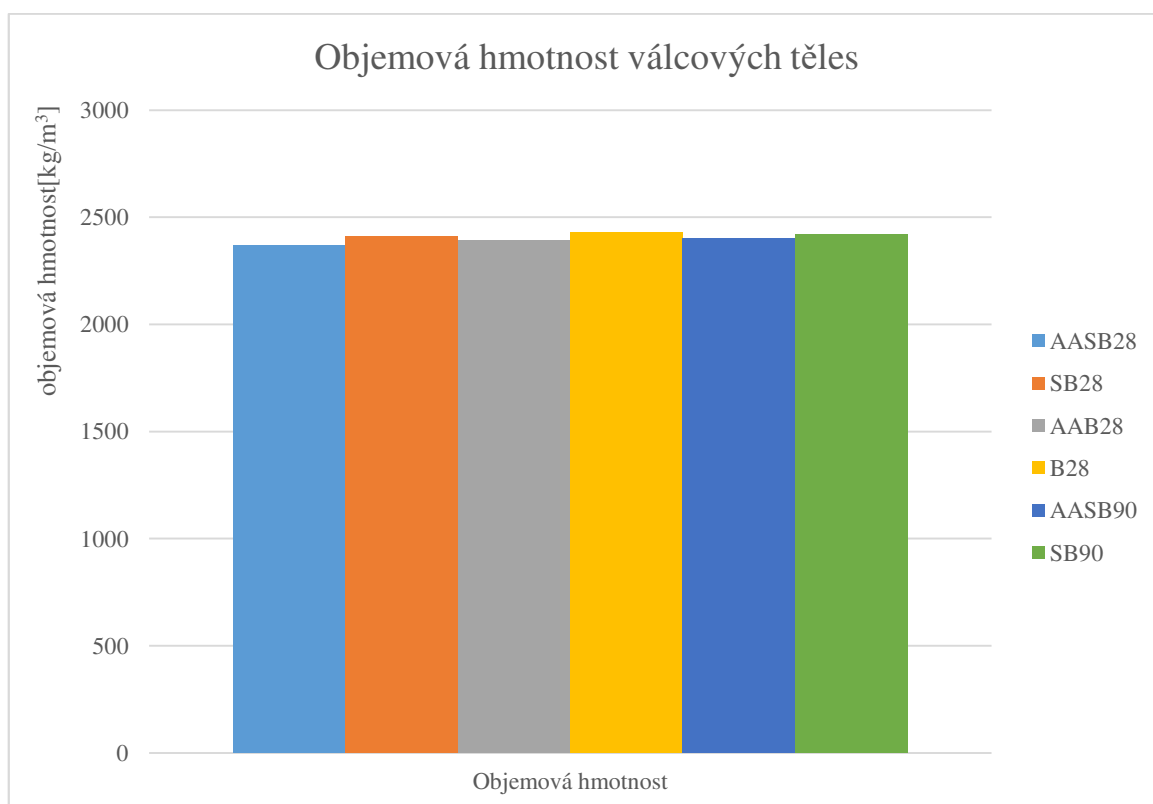
7.6.1 Vyhodnocení válcových těles

Objemové hmotnosti u všech sledovaných směsí se pohybují od 2370 kg/m³ do 2430 kg/m³. Použité kamenivo na objemové hmotnosti sledovaných kompozitů nemá výrazný vliv.

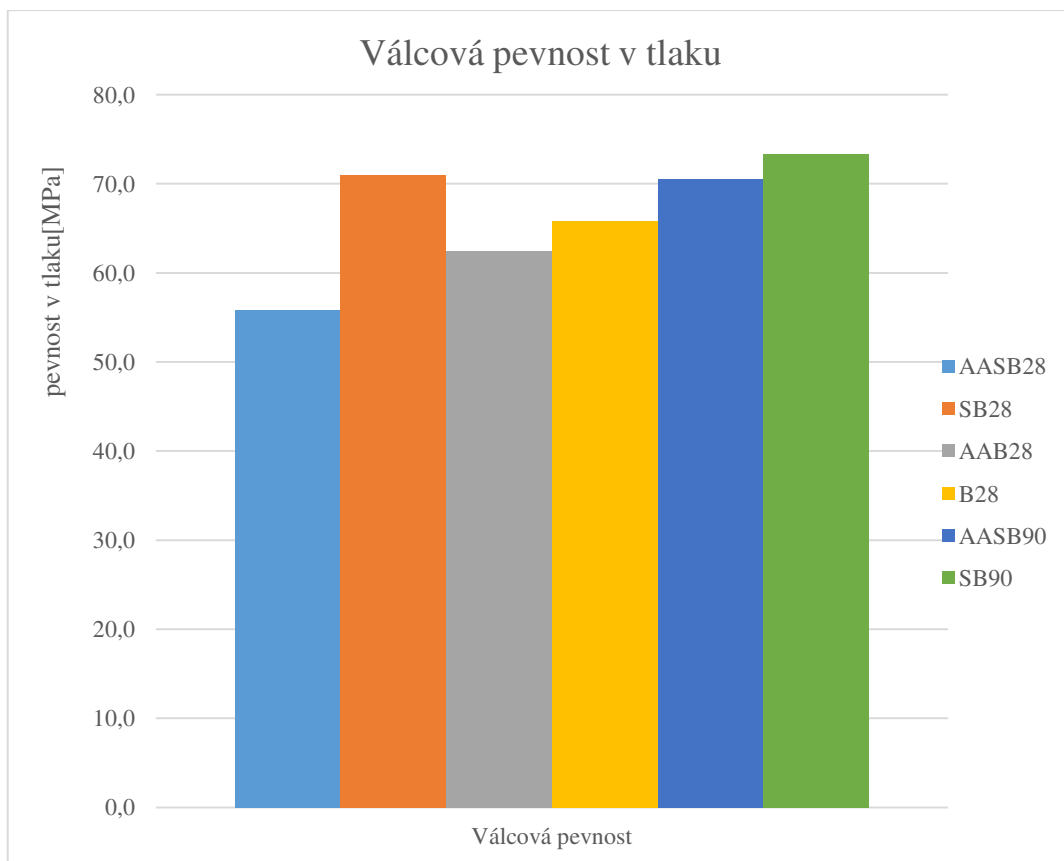
Největších rozdílů mezi kompozity při použití struskového kameniva bylo dosaženo u pevnosti v tlaku a statickém a dynamickém modulu pružnosti po 28 dnech zrání. Při použití portlandského cementu bylo dosaženo vyšších hodnot u všech sledovaných vlastností, než při použití alkalicky aktivované strusky. Zde se rovněž projevil výrazný rozdíl v rychlosti vývoje pevností a hydratačních procesů. Při sledování stejných vlastností po 90 dnech jsou už rozdíly minimální. Stále je však dosaženo vyšších hodnot u portlandského cementu.

U směsí s přírodním kamenivem byly po 28 dnech zrání dosaženy vyrovnanější výsledky, zde není tak výrazný rozdíl v nárůstu pevností. Vyšších hodnot bylo dosaženo při použití portlandského cementu.

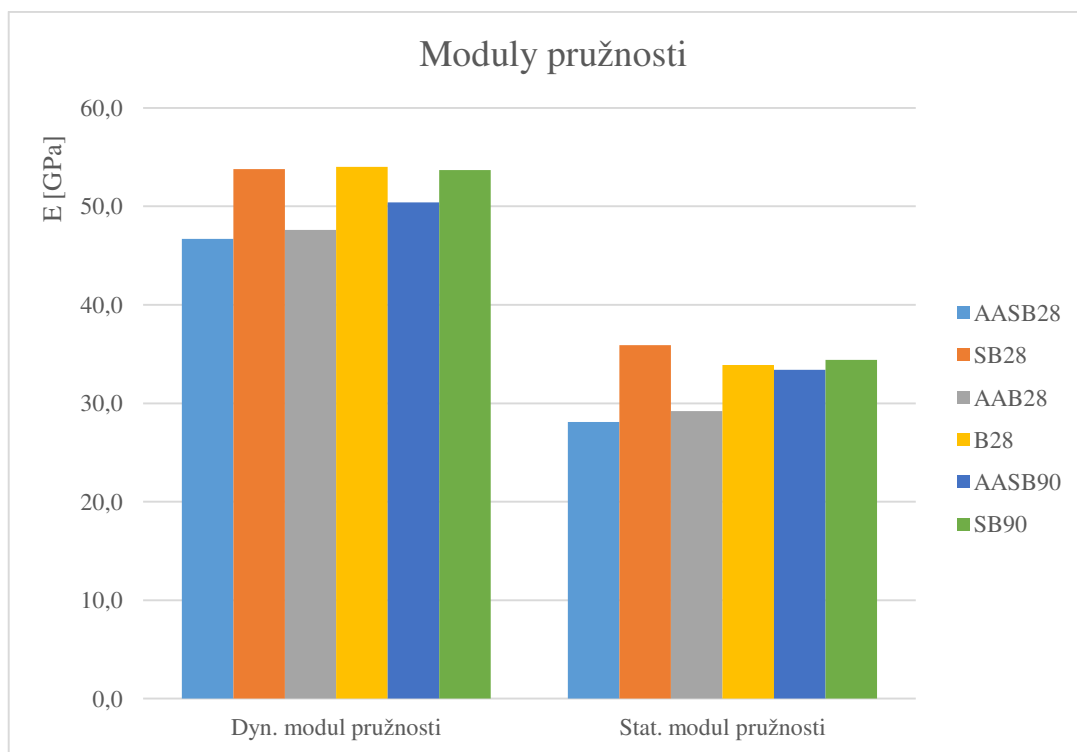
Při srovnání struskového a přírodního kameniva u portlandského cementu bylo dosaženo vyšších hodnot u struskového kameniva než u přírodního kameniva. Zatímco u směsí na bázi alkalicky aktivované strusky bylo dosaženo vyšších hodnot u přírodního kameniva než u struskového kameniva.



Obr.32 Znázornění jednotlivých hodnot objemových hmotností u válcových těles



Obr.33 Znáznornění výsledných hodnot pevnosti v tlaku u válcových těles



Obr.34 Znáznornění výsledných hodnot statického a dynamického modulu pružnosti u válcových těles



Obr.35 Stanovení statického modulu pružnosti na válcových tělesech

7.7 Stanovení maximálního průsaku tlakovou vodou

Výsledky:

Maximální hodnoty průsaku tlakovou vodou u všech sledovaných záměsí jsou uvedeny v tabulce (Tab. 16). Jednotlivé vzorky po zkoušce tlakovou vodou jsou zobrazeny na obrázcích (Obr. 36 - 39).

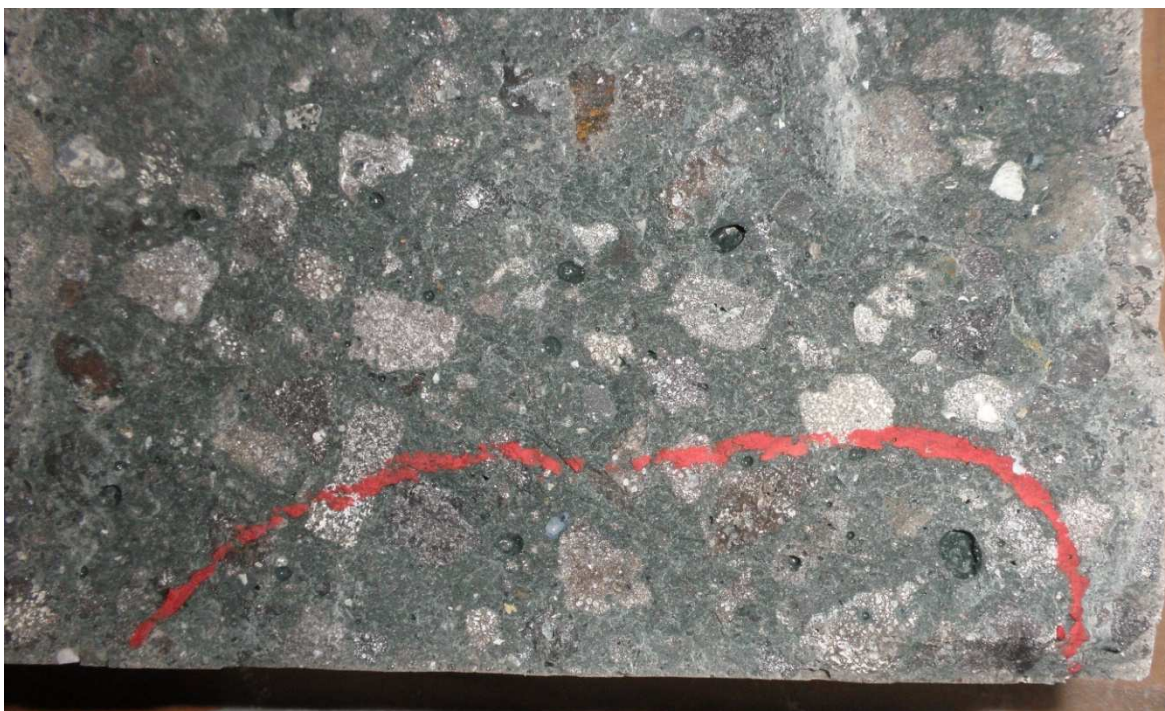
Tab. 16 Maximální průsak tlakovou vodou

Ozn.	Max. průsak [mm]	Povolená hodnota dle TP ČBS 02 [mm]	Povolená hodnota dle ČSN EN 206-1/Z3 [mm]
SB	16	50	35
AASB	29	50	35
B	7	50	35
AAB	10	50	35

7.7.1 Vyhodnocení maximálního průsaku

U stanovení maximálního průsaku se projevil nepříznivý vliv struktury struskového kameniva na dosažené výsledky. Bylo zde dosaženo vyšších hodnot maximálního průsaku než při použití přírodního kameniva. Ale i přes horší výsledky u struskového kameniva, i tyto vzorky splňují normové požadavky pro vodonepropustné konstrukce, jak podle ČSN EN 206-1/Z3, tak podle TP ČBS 02.

U přírodního kameniva je zřejmé (Obr. 38 - 39), že k průsaku došlo v řádu několika milimetrů a jedná se o rovnoměrné protlačení vody do struktury vzorků, zatímco u struskového kameniva došlo k výraznějšímu protlačení vody do struktury sledovaných kompozitů. U AASB došlo k největšímu průsaku (Obr. 36), vidíme taktéž, že došlo k nestejněmu průsaku zřejmě vlivem nestejnorodosti struskového kameniva. U SB nedošlo k tak výraznému průsaku jako u AASB, ale lze zde, stejně jako u AASB vidět, že průsak není rovnoměrný (Obr. 37). Ve středu tělesa se nachází dva vrcholy, kde je průsak větší, než v okolních oblastech, opět zřejmě způsobený nestejnorodostí struskového kameniva.



Obr.36 Maximální hloubka průsaku u AASB



Obr.37 Maximální hloubka průsaku u SB



Obr.38 Maximální hloubka průsaku u AAB



Obr.39 Maximální hloubka průsaku u B

7.8 Mrazuvzdornost

Výsledky:

Výsledné hodnoty jednotlivých směsí po zkoušce mrazuvzdornosti na krychelných tělesech jsou uvedeny v tabulce (Tab. 17).

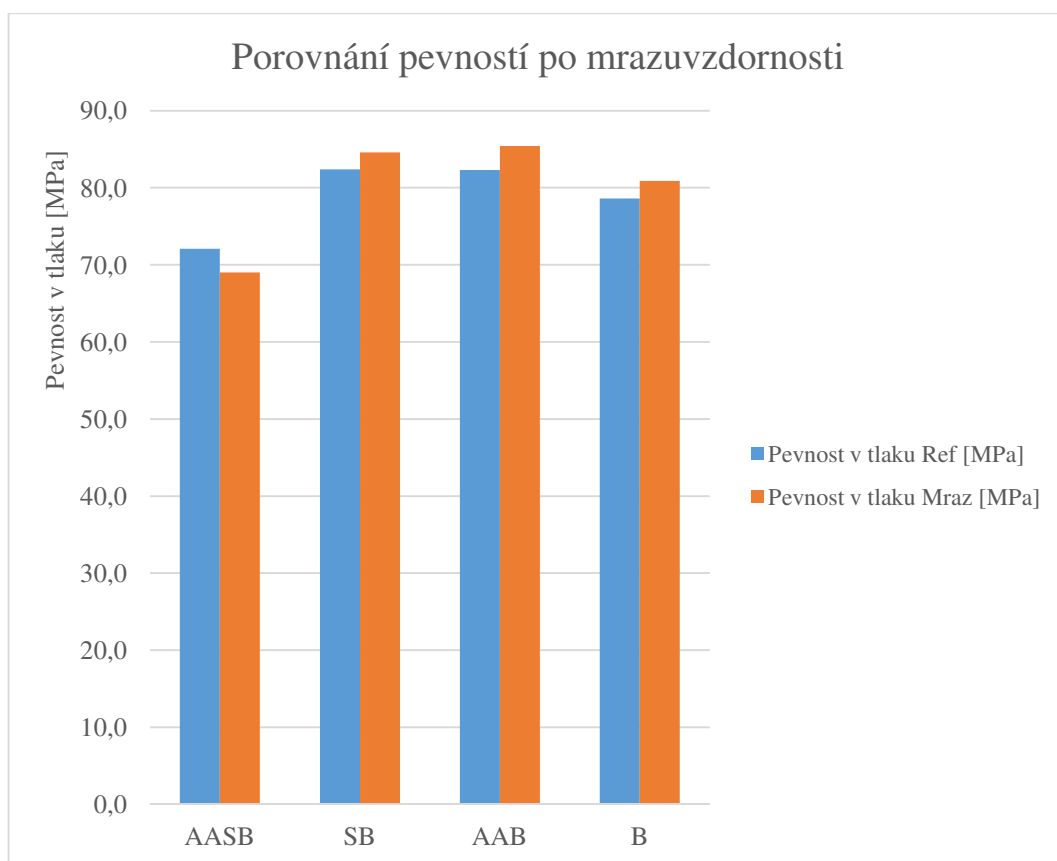
Tab. 17 Výsledné hodnoty mrazuvzdornosti

Ozn.	Pevnost v tlaku Ref [MPa]	Pevnost v tlaku Mraz [MPa]	Koeficient mrazuvzdornosti [-]	Hmotnostní úbytek [%]
AASB	72,1	69,0	0,96	0,60
SB	82,4	84,6	1,02	0,46
AAB	82,3	85,4	1,04	0,45
B	78,6	80,9	1,03	0,32

7.8.1 Vyhodnocení mrazuvzdornosti

Z výsledných hodnot (Obr. 40) je zřejmé, že struskové kamenivo výrazně neovlivňuje mrazuvzdornost kompozitu. Pouze u AASB došlo k mírnému zhoršení výsledných vlastností. Jelikož však nebyla překročena maximální povolená hodnota snížení pevnosti po mrazuvzdornosti, která dle normového požadavku činí 0,75 násobek hodnoty pevnosti referenčních vzorků, lze konstatovat, že všechny vzorky splňují podmínku mrazuvzdornosti.

U těles byl stanoven také hmotnostní úbytek po mrazuvzdornosti, ten dosahoval hodnot několika desetin procenta z referenčních hodnot. Nejvyššího úbytku hmotnosti bylo dosaženo u AASB kde hodnota hmotnostního úbytku dosahovala 0,6 %. Nejnižšího úbytku bylo dosaženo u betonu s přírodním kamenivem, kde hmotnostní úbytek činil jen 0,32 %.



Obr.40 Výsledné hodnoty po zkoušce mrazuvzdornosti

7.9 Stanovení odolnosti povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek (CHRL)

Výsledky:

V následující kapitole jsou zaznamenány výsledky po působení chemických rozmrazovacích látek.

7.9.1 CHRL se struskovým kamenivem

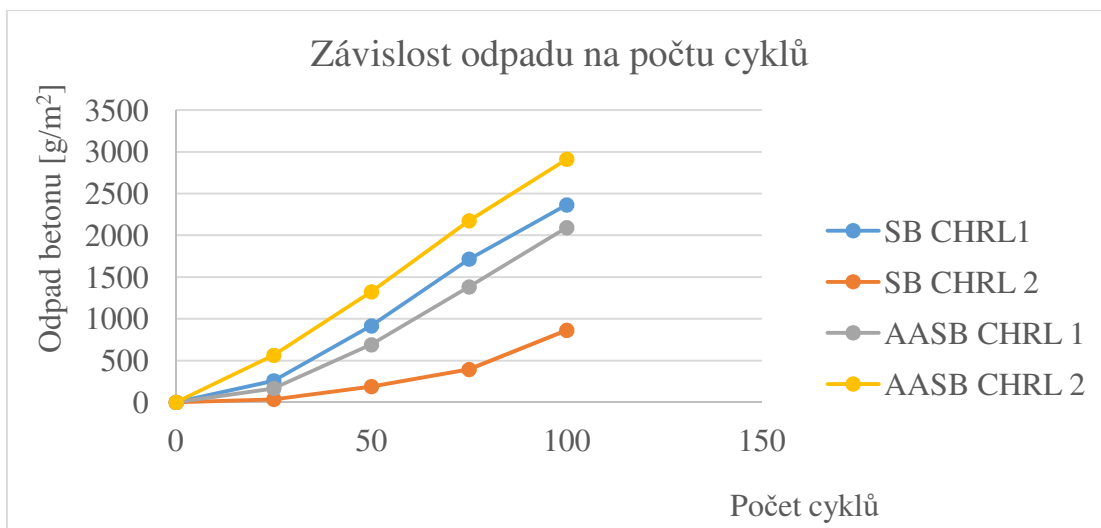
Výsledné hodnoty sledovaných směsí se struskovým kamenivem po 100 cyklech CHRL jsou uvedeny tabulce (Tab. 18), kde je zobrazen celkový hmotnostní odpad včetně přepočtení hmotnosti odpadu na 1 m^2 a zařídění. Dále je v tabulce (Tab. 19) uveden hmotnostní přepočet na 1 m^2 po 25 cyklech, který je zobrazen na obrázku (Obr. 41). Vzorky po 100 cyklech CHRL jsou zobrazeny na obrázcích (Obr. 42 - 43).

Tab. 18 Vyhodnocení směsí se struskovým kamenivem po 100 cyklech CHRL

Vyhodnocení zkoušky CHRL					
Ozn.	$\Sigma m \text{ [g]}$	$A \text{ [mm}^2\text{]}$	$\rho_a \text{ [g/m}^2\text{]}$		Vyhodnocení
SB CHRL1	59,82	25294,01	2364,99	→	Silně narušený
SB CHRL 2	21,88	25356,15	862,91	→	Narušený
AASB CHRL 1	52,84	25252,60	2092,46	→	Silně narušený
AASB CHRL 2	73,65	25292,39	2911,94	→	Silně narušený

Tab. 19 Vyhodnocení závislosti množství odpadu na počtu cyklů

Ozn.	Cykly	0	25	50	75	100
SB CHRL1	$\rho_a \text{ [g/m}^2\text{]}$	0	258,56	915,63	1715,82	2364,99
SB CHRL 2	$\rho_a \text{ [g/m}^2\text{]}$	0	36,28	189,30	393,99	862,91
AASB CHRL 1	$\rho_a \text{ [g/m}^2\text{]}$	0	167,11	689,83	1382,83	2092,46
AASB CHRL 2	$\rho_a \text{ [g/m}^2\text{]}$	0	563,41	1322,93	2174,57	2911,94



Obr.41 Závislost odpadu na počtu cyklů



Obr.42 Vzorek SB CHRL2 po 100 cyklech



Obr.43 Vzorek AASB CHRL2 po 100 cyklech

7.9.2 CHRL s přírodním kamenivem

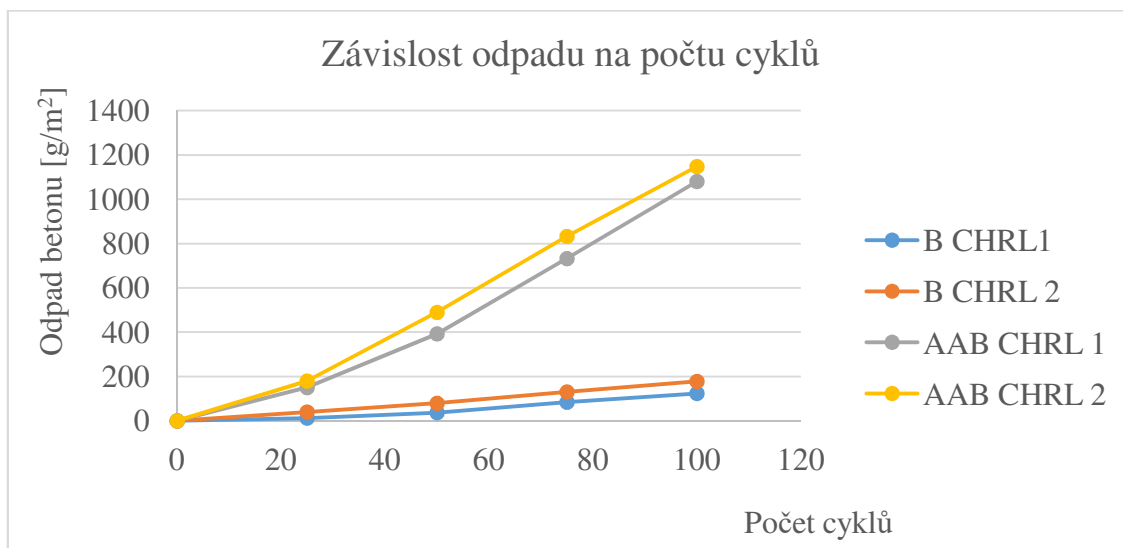
Výsledné hodnoty sledovaných směsí s přírodním kamenivem po 100 cyklech CHRL jsou uvedeny tabulce (Tab. 20), kde je zobrazen celkový hmotnostní odpad včetně přepočtení hmotnosti odpadu na 1 m^2 a písemné zatřídění. Dále je v tabulce (Tab. 21) uveden hmotnostní přepočet na 1 m^2 po 25 cyklech, který je zobrazen na obrázku (Obr. 44). Vzorky po 100 cyklech CHRL jsou zobrazeny na obrázcích (Obr. 45 - 46).

Tab. 20 Vyhodnocení směsí s přírodním kamenivem po 100 cyklech CHRL

Vyhodnocení zkoušky CHRL					
Ozn.	$\Sigma m \text{ [g]}$	$A \text{ [mm}^2\text{]}$	$\rho_a \text{ [g/m}^2\text{]}$		Vyhodnocení
B CHRL1	3,14	25375,35	123,74	→	Slabě narušený
B CHRL 2	4,52	25388,11	178,04	→	Slabě narušený
AAB CHRL 1	27,34	25309,95	1080,21	→	Silně narušený
AAB CHRL 2	29,13	25388,12	1147,39	→	Silně narušený

Tab. 21 Vyhodnocení závislosti množství odpadu na počtu cyklů

Ozn.	Cykly	0	25	50	75	100
B CHRL1	ρ_a [g/m ²]	0	12,61	37,04	84,33	123,74
B CHRL 2	ρ_a [g/m ²]	0	40,18	79,56	130,77	178,04
AAB CHRL 1	ρ_a [g/m ²]	0	150,14	392,73	732,52	1080,21
AAB CHRL 2	ρ_a [g/m ²]	0	179,61	489,60	832,28	1147,39



Obr.44 Závislost odpadu na počtu cyklů



Obr.45 Vzorek AAB CHRL1 po 100 cyklech



Obr.46 Vzorek B CHRL1 po 100 cyklech

7.9.3 Vyhodnocení CHRL

U CHRL se projevila výrazný vliv struskového kameniva na výsledky především u kompozitu na bázi portlandského cementu. U struskového kameniva došlo k výrazně vyššímu hmotnostnímu odpadu než u přírodního kameniva. Při použití struskového kameniva došlo také k rozdílným výsledkům u jednotlivých vzorků, kde se nejspíš projevila nestejnorodost struskového kameniva. Při použití přírodního kameniva byly jednotlivé výsledky vzorků téměř totožné.

U kompozitu na bázi alkalicky aktivované strusky nedošlo k tak výrazně odlišným výsledkům u struskového a přírodního kameniva jako u směsi s portlandským cementem. Ale i zde se projevila nepříznivý vliv struskového kameniva na dosažené výsledky. U přírodního kameniva bylo dosaženo u jednotlivých vzorků podobných výsledků.

7.10 Stanovení vlivu výluhu na počátek tuhnutí pojivových systémů

7.10.1 Vliv výluhu na počátek tuhnutí cementu

Výsledky:

Naměřené hodnoty počátku tuhnutí a vlivu výluhu stanovené při použití vody z vodovodního řádu a výluhu ze struskového kameniva připraveného dle normy ČSN EN 1744-6 [5] jsou uvedeny v tabulce (Tab. 22).

Tab. 22 Výsledné hodnoty vlivu výluhu na počátek tuhnutí

Počátek tuhnutí			
Voda		Výluh	
cement	500 g	cement	500 g
voda	126 g	výluh	126 g
hodnota	5 mm	hodnota	6 mm
čas	185 min	čas	210 min
Vliv výluhu A		-25 min	

U portlandského cementu došlo k prodloužení doby tuhnutí o 25 minut.

7.10.2 Vliv výluhu na počátek tuhnutí alkalicky aktivované strusky

Výsledky:

Naměřené hodnoty počátku tuhnutí a vlivu výluhu stanovené při použití vody z vodovodního řádu a výluhu ze struskového kameniva připraveného dle normy ČSN EN 1744 6 [5] jsou uvedeny v tabulce (Tab. 23).

Tab. 23 Výsledné hodnoty vlivu výluhu na počátek tuhnutí

Počátek tuhnutí			
Voda		Výluh	
VGS	500 g	VGS	500 g
aktivátor	140 ml	aktivátor	140 ml
voda	30 g	výluh	30 g
hodnota	6 mm	hodnota	6 mm
čas	80 min	čas	90 min
Vliv výluhu A		-10 min	

U alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky došlo k prodloužení doby tuhnutí o 10 minut.

Z výsledků je zřejmé, že výluh výrazným způsobem ovlivňuje počátek hydratačních procesů u obou typů pojivových systémů. Proto byla následující fáze práce orientována na zjištění složení výluhu struskového kameniva. Vedle normového výluhu byl pro možnost dalšího testování a také možnosti srovnání připraven také nenormový výluh.

Nenormový výluh byl připraven jako roztok, sestávající z 10 g jemně mletého struskového kameniva a 100 ml destilované vody, ponechaný po dobu 24 hodin na třepáčce, a následně přefiltrovaný přes filtrační papír.

7.10.3 Stanovení pH a množství síranů ve výluhu

Výsledky:

Výsledné pH a obsah síranů stanovený pomocí papírků Quantofix výluhu ze struskového kameniva jsou uvedeny v tabulce (Tab. 24).

Tab. 24 Výsledné hodnoty pH a obsahu síranů

Ozn.	Normový výluh	Nenormový výluh
pH	6,38	11,03
sírany [mg/l]	> 800	< 200
hmotnost kapalné fáze [g]	602,34	90,45
hmotnost pevné fáze [g]	1,86	0,17

U nenormového výluhu zřejmě došlo k vylouhování zásaditých sloučenin z vnitřní struktury struskového kameniva, proto bylo dosaženo pH 11,03, zatímco u normového výluhu se z kameniva vylouhovaly pouze sloučeniny situované na povrchu kameniva. Rozdíl byl také v délce loužení, kdy normový výluh byl loužen pouze 3 hodiny, zatímco nenormový výluh 24 hodin. I proto zřejmě bylo u normového výluhu naměřeno pH jen 6,38.

Pomocí papírků Quantofix byl stanoven obsah síranů v jednotlivých výluzích. U normového výluhu bylo zjištěno množství větší než 800 mg/l, zatímco u nenormového výluhu bylo zjištěno množství menší než 200 mg/l. Rozdíl mezi jednotlivými výluhy je dán rozdílným množstvím vody a louženého materiálu, nebyl zachován stejný poměr mezi vodou a struskovým kamenivem.

7.10.4 Stanovení chemického složení pomocí spektrometru

Výsledky:

Chemické složení pomocí spektrometru bylo stanoveno z důvodu minimálního množství vzorku pouze na normovém výluhu. Normový výluh se odvařil a pevná fáze, která vykrystalovala, se následně zkoušela na spektrometru. Nejvíce zastoupené prvky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 25).

Tab. 25 Chemické složení vykrystalizované pevné fáze z výluhu

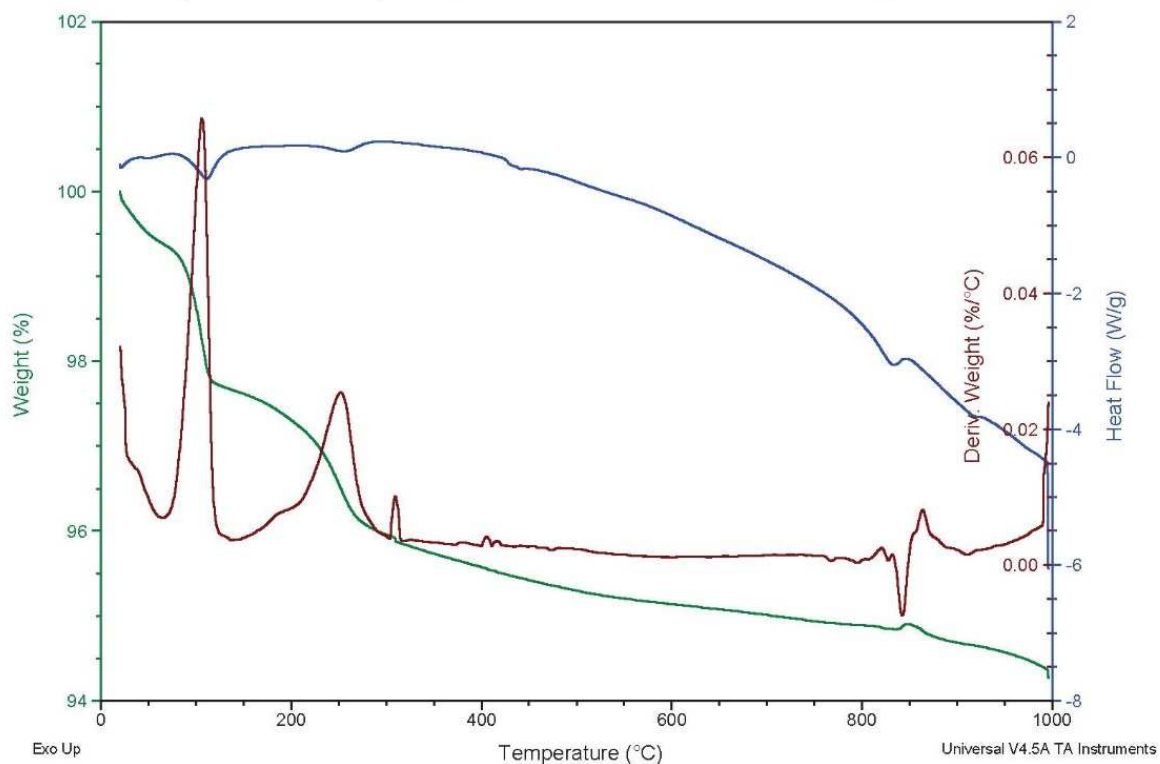
Prvek	Procentuální podíl [%]
Ca	14,196
K	17,904
Si	1,581
S	25,247
Mg	2,035

Z tohoto chemického složení je zajímavý především velmi vysoký obsah draslíku a zejména to, kde se v takovém množství objevil ve struskovém kamenivu. Dále se v chemickém složení vyskytuje velké množství síry, a to až 25 % a vápníku 14 %. Zbylé dva prvky, křemík a hořčík jsou zastoupeny jen v malé míře.

7.10.5 Stanovení termické analýzy

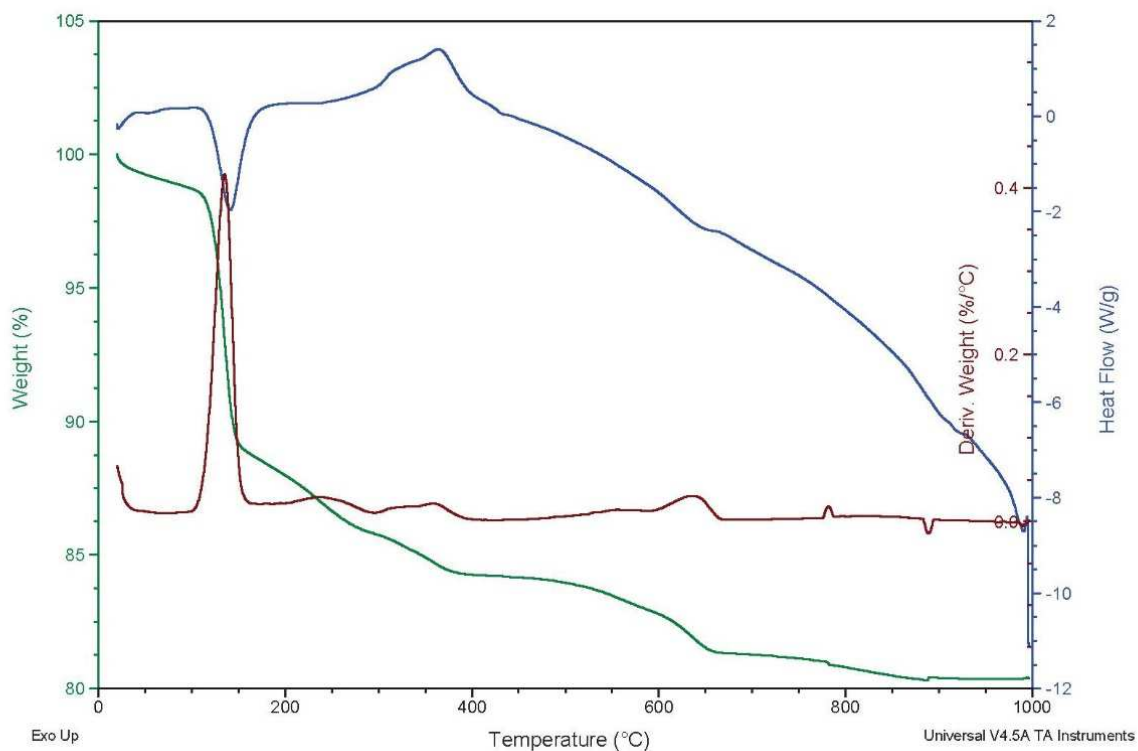
Výsledky:

Chování pevné fáze získané z výluhu při termické analýze je uvedeno na obrázcích (Obr. 47-48).



Obr.47 Výsledky termické analýzy normového výluhu

U pevné fáze normového výluhu byla provedena termická analýza (Obr. 47). U vzorku je možné pozorovat pravděpodobný rozklad síranů (K_2SO_4 , Ca_2SO_4) při teplotách do 180 °C.



Obr.48 Výsledky termické analýzy nenormového výluhu

U pevné fáze nenormového výluhu byla rovněž provedena termická analýza (Obr. 48). U vzorku je pozorovatelný pravděpodobný rozklad síranů (K_2SO_4 , Ca_2SO_4) při teplotách kolem 150 - 180 °C a dále při teplotě cca 350 °C pravděpodobně přechod anhydritu III na anhydrit II.

Pomocí spektrometru byly určeny hlavní chemické prvky ve výluhu, pomocí termické analýzy bylo stanoveno jeho přibližné chemické složení. Pro podrobnější informace by bylo nutné provést další analýzy, jako vhodná se jeví rentgenová prášková difrakce, kdy analýzou difraktovaného záření lze následně stanovit některé strukturní charakteristiky a případně rozmístění stavebních částic v krystalové mřížce studované pevné fáze.

7.10.6 Vyhodnocení vlivu výluhu

Vzhledem k zjištěným informacím ohledně složení normového výluhu, tedy, že se v něm vyskytuje relativně velké množství síranů a má kyselé pH, není překvapivé, že došlo k prodloužení počátku tuhnutí u portlandského cementu o 25 minut. Síraný se záměrně přidávají již při mletí slínku do cementu, aby zpomalily počátek tuhnutí.

U alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky došlo k prodloužení doby tuhnutí pouze o 10 minut, což lze odůvodnit částečným snížením alkality prostředí kyselým roztokem a tím snížením reaktivity strusky. Dávkování výluhu bylo v případě alkalické aktivace strusky odlišné, než v případě portlandského cementu, neboť alkálie jsou vnášeny pomocí roztoku, jenž obsahuje i část záměsové vody, tedy množství výluhu dodaného do systému s vysokopecní struskou bylo při stejném množství pojivové složky nižší.

Co se týče chemického složení, je zajímavý především vysoký obsah draslíku a jeho zdroj v kamenivu. Jednou z možností je, že se draslík vyskytoval ve vstupních materiálech, nicméně v předchozí spektrální analýze samotného struskového kameniva se draslík vyskytoval jen v minimálním množství. [28]

7.11 Kalorimetrie

Množství surovin použitá při kalorimetrii jsou uvedena v tabulce (Tab. 26 - 27), tato množství byla odvozena podle počátku tuhnutí. Výsledné hodnoty jsou zaznamenány na obrázcích (Obr. 49 - 53). Legenda k používanému značení u kalorimetrie, včetně přiřazených barev k jednotlivým vzorkům je v tabulce (Tab. 28).

Tab. 26 Receptura použitá pro kalorimetrii u VGS

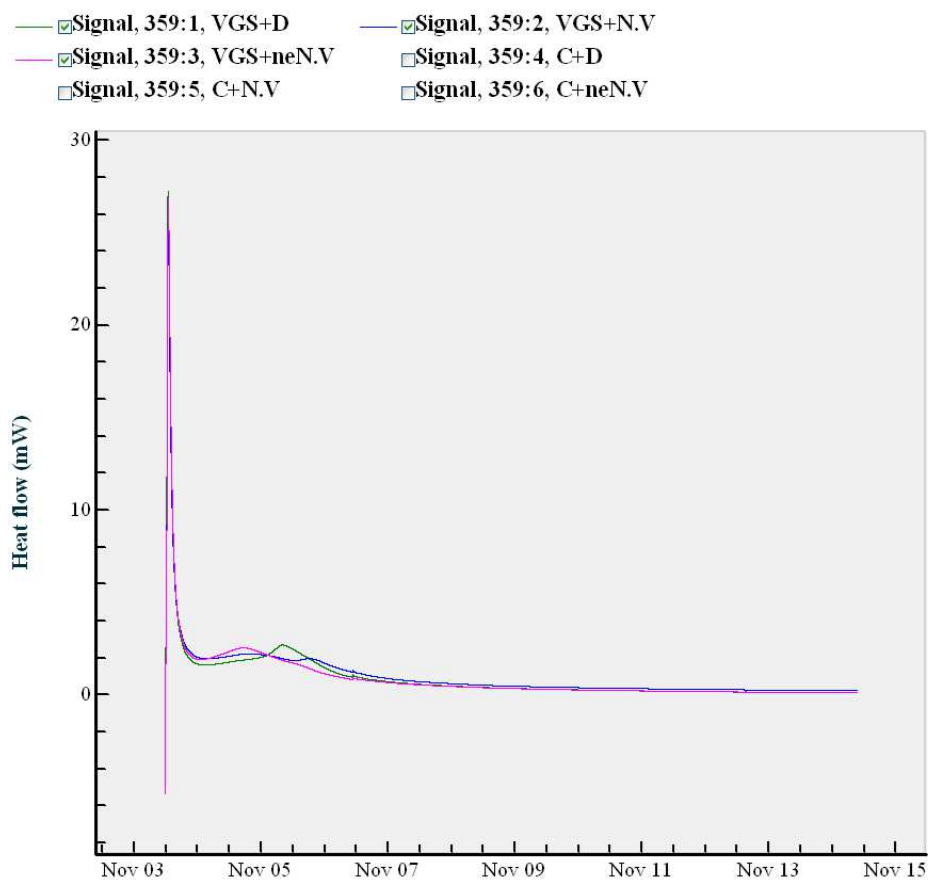
Receptura	
VGS	5 g
Aktivátor	1,41 ml
Kapalná složka	0,3 g

Tab. 27 Receptura použitá pro kalorimetrii u cementu

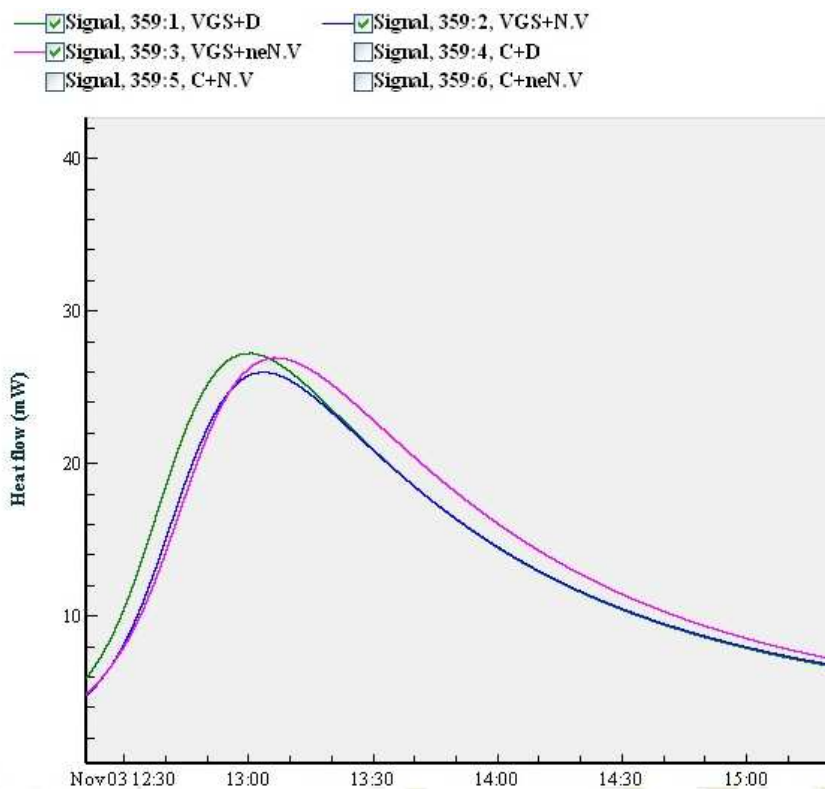
Receptura	
cement	5 g
Kapalná složka	1,26 g

Tab. 28 Legenda k použitému značení

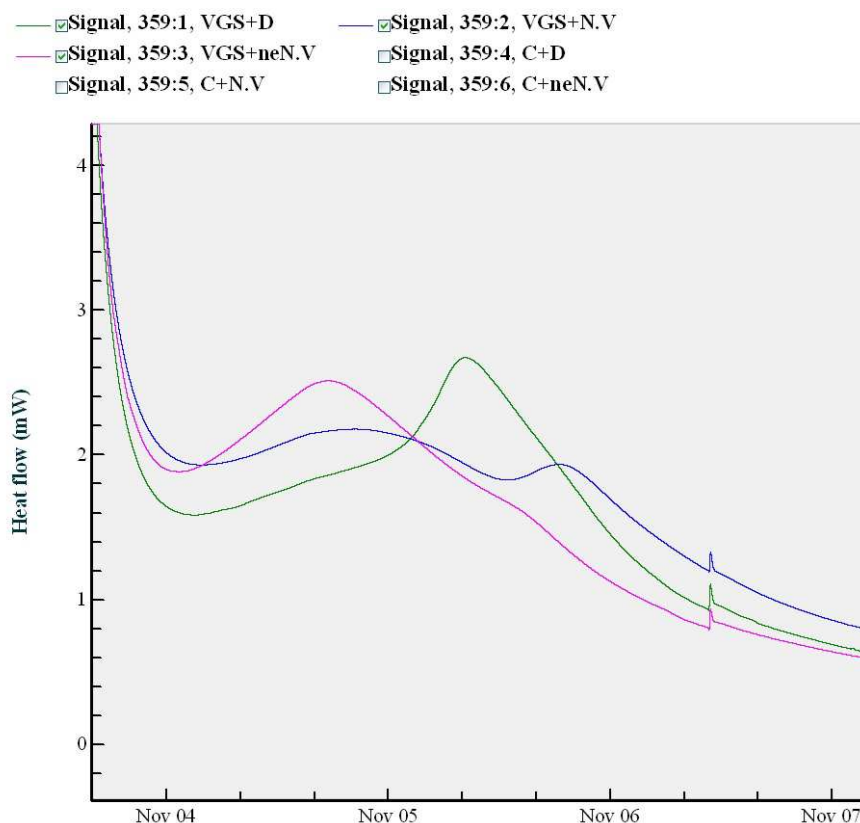
Ozn.	Název	Barva
VGS+D	vysokopeční granulovaná struska + destilovaná voda	zelená
VGS+N.V	vysokopeční granulovaná struska + normový výluh	modrá
VGS+neN.V	vysokopeční granulovaná struska + nenormový výluh	růžová
C+D	cement + destilovaná voda	sv. modrá
C+N.V	cement + normový výluh	černá
C+neN.v	cement + nenormový výluh	červená



Obr.49 Průběh kalorimetrie u alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky



Obr.50 Průběh kalorimetrie alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky - detail u maximální uvolněné teploty

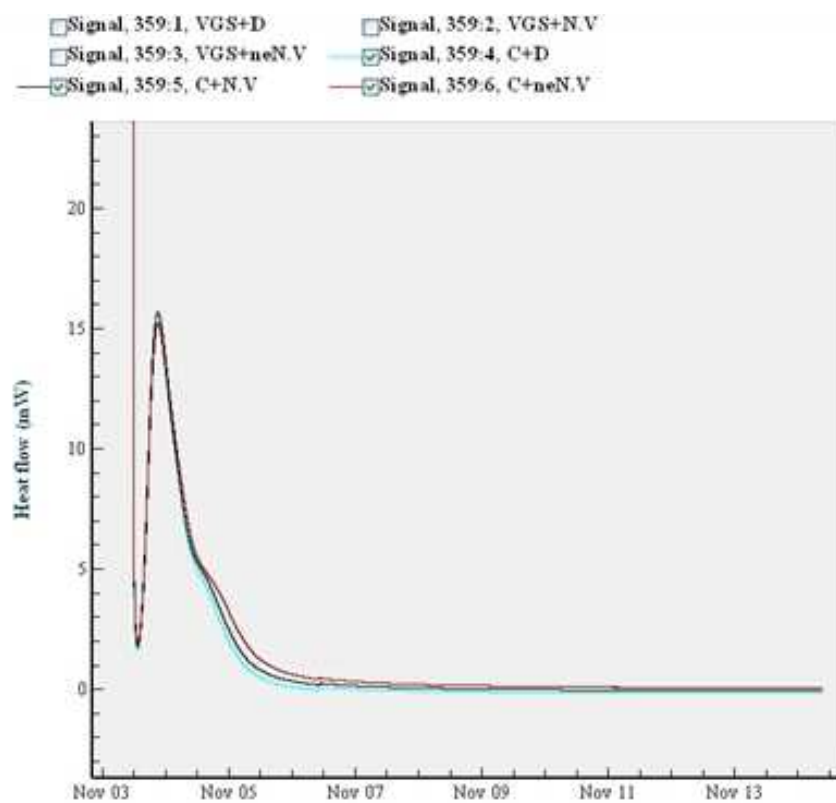


Obr.51 Průběh kalorimetrie u alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky - detail v průběhu hydratace

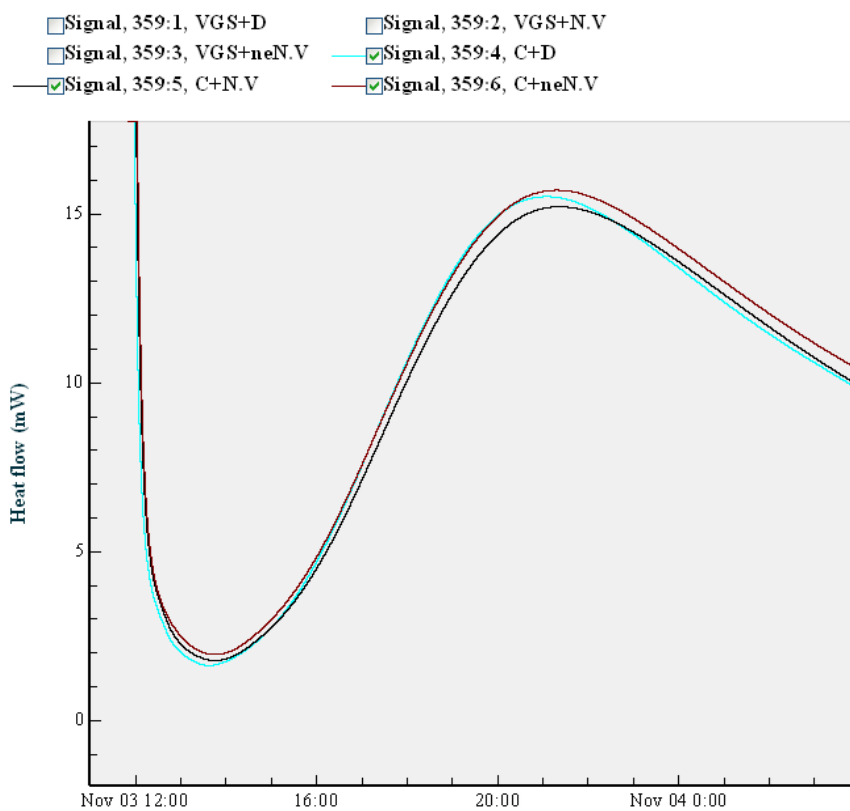
Obr. 49 znázorňuje křivky vývoje hydratačních procesů u směsí na bázi alkalicky aktivované vysokopecní strusky. Pro větší přehlednost jsou jednotlivá maxima vyobrazena na Obr. 50 - 51.

Na obrázku (Obr. 50) je zobrazena oblast počátku tuhnutí u alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky, je zřejmé, že rozdíly mezi směsí s destilovanou vodou a jednotlivými výluhy nejsou veliké, jen v řádu několika minut. Nejrychleji a s největším vývojem hydratačního tepla tuhne směs s destilovanou vodou. O cca 10 minut později a s nižším vývojem tepla začíná počátek tuhnutí u směsi s normovým výluhem. U směsi s nenormovým výluhem došlo přibližně ke stejnému uvolnění teploty jako u směsi s destilovanou vodou, ale došlo k prodloužení doby počátku tuhnutí přibližně o 15 minut.

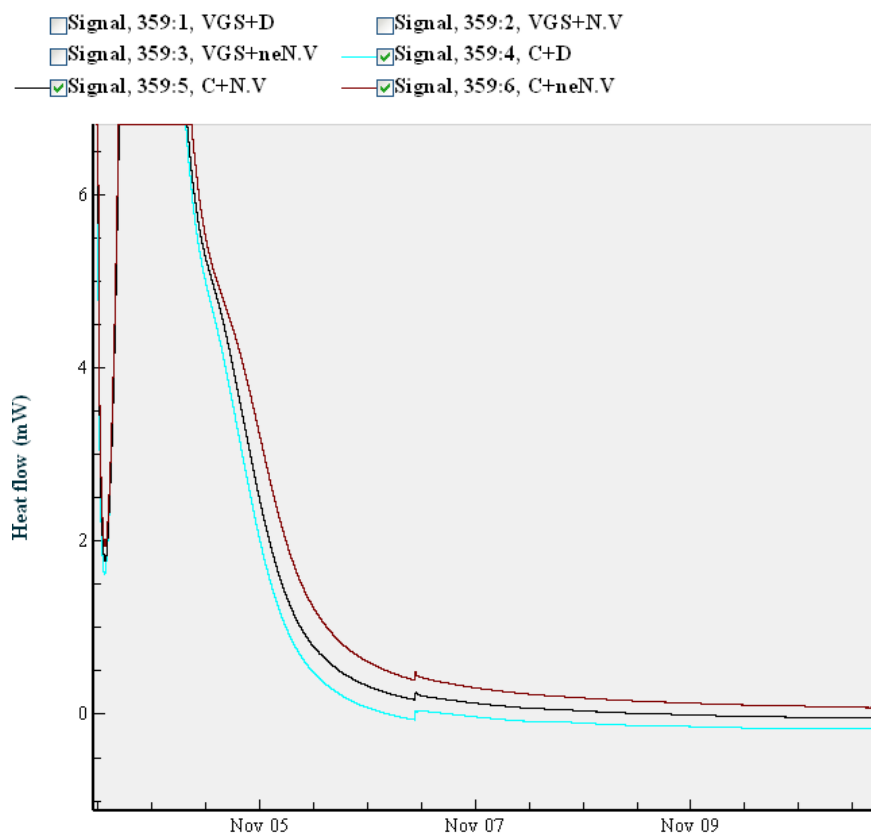
Na obrázku (Obr. 51) je zobrazen rozdílný průběh hydratačních procesů v časovém horizontu pěti dnů od přípravy vzorků. Oproti počátečním procesům hydratace v dlouhodobém měřítu jako první hydratuje směs strusky s nenormovým výluhem, až cca o 24 hodin později hydratuje struska s destilovanou vodou. U směsi strusky s normovým výluhem nebyla patrná tak výrazná reakce jako u předchozích vzorků, z hlediska času se její lokální maximum pohybovalo mezi dvěma výše uvedenými vzorky.



Obr.52 Průběh kalorimetrie u portlandského cementu



Obr.53 Průběh kalorimetrie u portlandského cementu - detail lokálního maxima



Obr.54 Průběh kalorimetrie u portlandského cementu - detail v průběhu hydratace

Na obrázku (Obr. 53) je zobrazena oblast hydratace u portlandského cementu, je zřejmé, že rozdíly mezi směsí s destilovanou vodou a jednotlivými výluhy nejsou oproti systému alkalicky aktivované strusky výrazné.

Na obrázku (Obr. 54) je zobrazen další průběh hydratace. Rozdíly jsou i zde pouze minimální.

7.12 Rozpadavost struskového kameniva pařením v autoklávu

Výsledky:

Výsledné hodnoty po zkoušce struskového kameniva v autoklávu jsou uvedeny v tabulce (Tab. 28). Celý protokol o zkoušce je uveden v příloze (Příloha. 7).

Tab. 29 Výsledné hodnoty rozpadavosti struskového kameniva v autoklávu

Vlastnost	Jednotka	Stanovení		Průměr
		1	2	
Rozpadavost pařením v autoklávu	% hm.	0,01	0,02	0,0

Struskové kamenivo je z hlediska zkoušky pařením v autoklávu bezpečné a u sledovaného struskového kameniva se nepředpokládají objemové změny, i když chemické složení naznačovalo opak.

8. Závěr

Cílem práce bylo zjistit, zda lze struskové kamenivo z haldy Koněv v Kladně použít v hydraulicky stmelených směsích. Výsledné vlastnosti dosažené se struskovým kamenivem byly porovnávány s přírodním kamenivem. V experimentu byly použity dva pojivové systémy, a to na bázi portlandského cementu a na bázi alkalicky aktivované vysokopecní jemně mleté granulované strusky aktivované sodným vodním sklem.

Experimentální část byla rozdělena do několika fází. Úvodní část byla věnována stanovení vlastností čerstvých směsí, následovalo stanovení základních fyzikálně-mechanických vlastností na jednotlivých typech těles. Další část experimentu byla zaměřena na testování trvanlivostních vlastností připravených kompozitů. V poslední části práce byl sledován vliv výluhu ze struskového kameniva na počátek tuhnutí a následných hydratačních procesů jednotlivých pojivových systémů pomocí kalorimetrie. Bylo rovněž stanoveno chemické složení a provedena termická analýza pevné fáze získané z výluhu. V závěru byla stanovena rozpadavost struskového kameniva v autoklávu.

Na základě výsledků lze konstatovat následující. Připravené hmoty se z hlediska konzistence řadí mezi směsi velmi tuhé. Vlivem obsahu těžného kameniva dosahují směsi s přírodním kamenivem, které má oblé hrany, lepší pohyblivosti a směsi jsou tedy plastičtější. Při stanovení stupně zhutnitelnosti bylo u alkalicky aktivovaných směsí zjištěno, že i když jsou směsi tuhé, při vibraci dochází ke značnému ztekucení a kvalitnímu zhutnění.

Průměrná objemová hmotnost čerstvé směsi AASB činí 2460 kg/m^3 a u SB bylo dosaženo objemové hmotnosti 2380 kg/m^3 . Objemová hmotnost čerstvé směsi AAB byla 2470 kg/m^3 a u B bylo dosaženo objemové hmotnosti 2390 kg/m^3 . Objemové hmotnosti připravených hmot se lišily jen minimálně.

Z hlediska pevností u jednotlivých typů testovaných těles lze konstatovat, že struskové kamenivo u směsí na bázi portlandského cementu výrazným způsobem neovlivňuje žádný z fyzikálně-mechanických parametrů. Oproti tomu u směsí na bázi alkalicky aktivované vysokopecní strusky je zřetelný výrazný vliv kameniva na počáteční pevnosti připravených kompozitů, kdy se zejména hodnoty pevností v tlaku během prvních 7 dnů zrání lišily až o 30 MPa.

V rámci testování trvanlivostních vlastností bylo již použítí jiného typu kameniva u jednotlivých směsí zřetelné. Z hlediska maximálního průsaku se projevila porézní

struktura struskového kameniva, kdy bylo dosaženo vyšších hodnot maximálního průsaku, než při použití přírodního kameniva. I v případě kompozitů ze struskového kameniva však byly splněny normové požadavky pro vodonepropustné konstrukce, jak podle ČSN EN 206-1/Z3, tak podle TP ČBS 02.

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že struskové kamenivo výrazným způsobem neovlivňuje mrazuvzdornost připravených kompozitů, všechny připravené směsi vyhověly normovým požadavkům.

V rámci zkoušky CHRL se projevil výrazný negativní vliv struskového kameniva na konečné vlastnosti, a to především u kompozitu na bázi portlandského cementu. U struskového kameniva došlo k výrazně vyššímu hmotnostnímu odpadu, než u přírodního kameniva. Při použití struskového kameniva byly zřejmé rozdílné výsledky i u jednotlivých vzorků, zde se nejspíš projevila nestejnorodost struskového kameniva. U těles připravených z přírodního kameniva byly výsledky jednotlivých vzorků téměř totožné.

Na základě zjištění, že výluh ovlivňuje počátek tuhnutí až o 25 minut, byl proveden rozbor a bylo zjištěno, že se v něm vyskytuje vysoké množství síranů vápenatých a draselných. Zejména zjištěný vysoký výskyt draslíku je neobvyklý, především proto, že v předchozí spektrální analýze samotného struskového kameniva se draslík vyskytoval jen v minimálním množství.

Struskové kamenivo je z hlediska zkoušky pařením v autoklávu bezpečné a u sledovaného struskového kameniva se nepředpokládají objemové změny, i když chemické složení naznačuje opak.

Na tělesech, která byla testována na pevnosti po 90-ti a více dnech zrání, se průběžně vizuálně sledoval případný výskyt poškození vzorků v důsledku objemových změn kameniva, ale ani při stáří těles 210 dní nebyly na připravených tělesech viditelné žádné poruchy. Nicméně je, vzhledem k zamýšleným aplikacím ve stavebnictví, nutné materiál a z něj připravené kompozity před uvedením na trh dlouhodobě sledovat, neboť chemické analýzy kameniva [28] a výluhu z tohoto kameniva naznačují, že by v dlouhodobém časovém měřítku nežádoucí objemové změny v důsledku rekrystalizace některých fází mohly nastat.

Na základě předchozích výzkumných prací bylo zjištěno, že zkoušené struskové kamenivo se dle objemové hmotnosti řadí mezi hutné kamenivo. Pro použití v hydraulicky stmelěných směsích je nutno zohlednit vyšší nasákavost tohoto kameniva, granulometrické vlastnosti kameniva jsou příznivé. Jednou z omezujících vlastností struskového kameniva

je index hmotnostní aktivity, kdy zvýšená hodnota zabraňuje použití tohoto kameniva v obytných místnostech. [28]

Vzhledem k dosaženým výsledkům lze tedy konstatovat, že struskové kamenivo z haldy Koněv lze použít v hydraulicky stmelených směsích s výjimkou použití do obytných místností. Nejhoršího výsledku ve srovnání s přírodním kamenivem bylo dosaženo u zkoušky CHRL, odolnost by se případně mohla zlepšit obměnou receptury, např. použitím provzdušňovací přísady.

9. Poděkování

Děkuji především vedoucí diplomové práce, Ing. Janě Boháčové, za konzultace, pomoc při práci a cenné rady. Také děkuji Katedře stavebních hmot a diagnostiky staveb a Laboratoři stavebních hmot, FAST za pomoc při výzkumné práci a Institutu čistých technologií těžby a užití energetických surovin - Projekt udržitelnosti, Identifikační kód: LO1406 a Ing. Pavlu Mecovi za pomoc při provedení zkoušek.

10. Použitá literatura

- [1] Boháčová, J. *Studium vlivu různých typů plniv na vlastnosti geopolymerních systémů na bázi alkalicky aktivovaných strusek*, VŠB – TUO, 2008
- [2] Brandštetr, J. *Alkalické cementy a betony*. SILIKA 2000
- [3] Brandštetr, J., Koloušek, D., Vorel, J., Opravil, T., Bayer, P.: *Geopolymery, geopolymerní cementy a betony*. SILIKA, č. 7 - 8, s. 208-2011, (2005)
- [4] ČSN EN 1008 – *Záměsová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu*, Český normalizační institut, 2003
- [5] ČSN EN 1744-6 *Zkoušení chemických vlastností kameniva – Část 6: Stanovení vlivu výluhu z recyklovaného kameniva na počátek tuhnutí cementu*, Český normalizační institut, 2006
- [6] ČSN EN 12390-2 *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetření zkušebních těles pro zkoušky pevnosti*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [7] ČSN EN 12390-1 *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013
- [8] ČSN EN 12350-6 *Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost*, Český normalizační institut, 2000
- [9] ČSN EN 12350-7 *Zkoušení ztvrdlého betonu Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*, Český normalizační institut, 2009
- [10] ČSN EN 12350-2 *Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím*, Český normalizační institut, 2009
- [11] ČSN EN 12350-5 *Zkoušení čerstvého betonu – Část 5: Zkouška rozlítím*, Český normalizační institut, 2009
- [12] ČSN EN 12350-4 *Zkoušení čerstvého betonu – Část 4: Stupeň zhutnitelnosti*, Úřad pro technickou normalizaci a státní zkušebnictví, 2009
- [13] ČSN EN 1744-6 *Zkoušení chemických vlastností kameniva – Část 6: Stanovení vlivu výluhu z recyklovaného kameniva na počátek tuhnutí cementu*, Český normalizační institut, 2007
- [14] ČSN EN 12390-6 *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles*, Český normalizační institut, 2010
- [15] ČSN EN 12390-3 *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*, Český normalizační institut, 2009

- [16] ČSN 73 1371 *Nedestruktivní zkoušení betonu – Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [17] ČSN EN 12390-5 *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*, Český normalizační institut 2009
- [18] ČSN ISO 1920-10 *Zkoušení betonu – Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016
- [19] ČSN EN 12390-8 *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [20] ČSN 73 1322 změna Z1 *Stanovení mrazuvzdornosti betonu*, Český normalizační institut, 2003
- [21] ČSN 73 1326 změna Z1 *Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických látek*, Český normalizační institut, 2003
- [22] Bílek, V. - *Technologie betonů a maltovin II – přenáška*
- [23] <http://www.eurosarm.cz> [cit. 12. 2. 2016]
- [24] kolektiv autorů: *Současný stav výzkumu v oblasti geopolymérů*. Česká rozvojová agentura, O.P.S, 385 s., 2005
- [25] Kreníková, V. *Odpady a druhotné suroviny II*, Ústí nad Labem, 2014
- [26] Ovčáčková, H., *Příprava pojiv alkalickou aktivací alternativních surovin*, Ostrava 2011
- [27] Petrů J., *Studium využití zeolitů jako přírodních pucolánů v maltách, betonech a geopolymerech*, Ostrava 2014
- [28] Pešata M. *Stanovení základních fyzikálně-mechanických vlastností struskového kameniva*, Ostrava, 2016
- [29] *Pojivové systémy*
- [30] Provis, John L, van Deventer Jannie S. J. *Alkali Activated Materials*, vyd. RILEM 2014, ISBN 978-94-007-7671-5
- [31] Pytlík, P. *Technologie betonu* 2. vyd. Brno, VUTIUM, 2000 Učebnice (VUTIM). ISBN 80-214-1647-5
- [32] Svoboda, L. a kol. *Stavební hmoty*, Praha, 2013. 3. vydání, dostupné on-line
- [33] Škvára, F. *Alkalicky aktivované materiály - geopolymery*. Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-004-1. Ústav skla a keramiky
- [34] Ščučka, J., Martinec, P., *Stavební hmoty I. – Beton*, VŠB-TUO
- [35] Švrčinová, R., *Materiálové využití strusek z železa a oceli*. VŠB-TUO. Fakulta metalurgie a materiálové inženýrství, 2010 Ostrava, 32s.
- [36] TP 138 *Užití struskového kameniva do pozemních komunikací*, VUT v Brně 2011

- [37] Vlček, J. *Materiálové využití strusek z metalurgie železa a oceli metodou alkalické aktivace*. Habilitační práce MS FMMI VŠB-TUO, 101 s. (2008)
- [38] www.kotouc.cz [cit. 14. 3. 2016]
- [39] www.sika.cz [cit. 18. 4. 2017]
- [40] www.cement.cz [cit. 18. 4. 2017]
- [41] www.liapor.cz [cit. 2. 11. 2017]
- [42] www.piskovnymorava.cz [cit. 2. 11. 2017]
- [43] www.e-beton.cz [cit. 15. 10. 2017]
- [44] www.vscht.cz [cit. 15. 10. 2017]

11. Seznam obrázků:

Obr. 1 Vývoj struktury - od plastického po ztvrdlý stav betonu [22].....	12
Obr. 2 Portlandit ve struktuře betonu [22].....	13
Obr. 3 Těžené kamenivo [42].....	14
Obr. 4 Umělé kamenivo liapor [41].....	15
Obr. 5 Struktura geopolymery [25]	17
Obr. 6 Výroba granulované vysokopecní strusky ArcelorMittal Ostarva [27]	19
Obr. 7 Snímek fluidního popílku z elektronového mikroskopu [34]	20
Obr. 8 Snímek mikrosiliky z elektronového mikroskopu [34].....	21
Obr.9 Schéma čtyřbodového ohybu [26].....	33
Obr.10 Zkouška rozlitém u AASB.....	40
Obr.11 Zkouška sednutí kužele u SB	40
Obr.12 Stanovení stupně zhutnitelnosti u SB.....	41
Obr.13 Stanovení rozlité u B.....	42
Obr.14 Zkouška sednutí kužele u B	42
Obr.15 Trámcové těleso u AASB po zkoušce pevnosti v tlaku	45
Obr.16 Trámcové těleso u AASB u zkoušky pevnosti v tahu za ohybu	45
Obr.17 Trámcové těleso u SB u zkoušky pevnosti v tahu za ohybu	47
Obr.18 Trámcové těleso u SB po zkoušce pevnosti v tlaku	47
Obr.19 Trámcové těleso u AAB u zkoušky pevnosti v tahu za ohybu.....	49
Obr.20 Trámcové těleso u AAB po zkoušce pevnosti v tlaku.....	49
Obr.21 Trámcové těleso u B u zkoušky pevnosti v tahu za ohybu	51
Obr.22 Trámcové těleso u B po zkoušce pevnosti v tlaku	51
Obr.23 Znázornění jednotlivých hodnot objemových hmotností u trámčových těles.....	53
Obr.24 Znázornění hodnot pevnosti v tlaku u trámčových těles.....	53
Obr.25 Znázornění hodnot pevnosti v tahu za ohybu u trámčových těles	54
Obr.26 Krychelné těleso u AASB po zkoušce pevnosti v tlaku.....	55
Obr.27 Krychelné těleso u SB po zkoušce pevnosti v tlaku.....	57
Obr.28 Krychelné těleso u AAB po zkoušce pevnosti v tlaku	58
Obr.29 Krychelné těleso u B po zkoušce pevnosti v tlaku	59
Obr.30 Znázornění jednotlivých hodnot objemových hmotností u krychelných těles.....	61
Obr.31 Znázornění hodnot pevnosti v tlaku u krychelných těles	61
Obr.32 Znázornění jednotlivých hodnot objemových hmotností u válcových těles	63
Obr.33 Znázornění výsledných hodnot pevnosti v tlaku u válcových těles	64
Obr.34 Znázornění výsledných hodnot statického a dynamického modulu pružnosti u válcových těles	64
Obr.35 Stanovení statického modulu pružnosti na válcových tělesech	65
Obr.36 Maximální hloubka průsaku u AASB	67
Obr.37 Maximální hloubka průsaku u SB	67
Obr.38 Maximální hloubka průsaku u AAB	68
Obr.39 Maximální hloubka průsaku u B	68
Obr.40 Výsledné hodnoty po zkoušce mrazuvzdornosti	70
Obr.41 Závislost odpadu na počtu cyklů	72
Obr.42 Vzorek SB CHRL2 po 100 cyklech	72
Obr.43 Vzorek AASB CHRL2 po 100 cyklech	73
Obr.44 Závislost odpadu na počtu cyklů	74

Obr.45 Vzorek AAB CHRL1 po 100 cyklech.....	74
Obr.46 Vzorek B CHRL1 po 100 cyklech	75
Obr.47 Výsledky termické analýzy	79
Obr.48 Výsledky termické analýzy nenormového výluhu	80
Obr.49 Průběh kalorimetrie u alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky	83
Obr.50 Průběh kalorimetrie alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky - detail u maximální uvolněné teploty	83
Obr.51 Průběh kalorimetrie u alkalicky aktivované vysokopecní granulované strusky - detail v průběhu hydratace.....	84
Obr.52 Průběh kalorimetrie u portlandského cementu.....	85
Obr.53 Průběh kalorimetrie u portlandského cementu - detail lokálního maxima.....	85
Obr.54 Průběh kalorimetrie u portlandského cementu - detail v průběhu hydratace.....	86

12. Seznam tabulek:

Tab. 1 Procentuální zastoupení chemických prvků ve strusce	23
Tab. 2 Složení sodného vodního skla	24
Tab. 3 Zrnitost struskového kameniva [28]	24
Tab. 4 Základní fyzikálně-mechanické vlastnosti struskového kameniva [28]	25
Tab. 5 Výsledné vlastnosti čerstvých směsí se struskovým kamenivem	39
Tab. 6 Výsledné vlastnosti čerstvých směsí s přírodním kamenivem	41
Tab. 7 Výsledné hodnoty AASB na trámčích	44
Tab. 8 Výsledné hodnoty SB na trámčích	46
Tab. 9 Výsledné hodnoty AAB na trámčích	48
Tab. 10 Výsledné hodnoty B na trámčích	50
Tab. 11 Výsledné hodnoty AASB a krychlích	55
Tab. 12 Výsledné hodnoty SB na krychlích	56
Tab. 13 Výsledné hodnoty AAB na krychlích	57
Tab. 14 Výsledné hodnoty B na krychlích	59
Tab. 15 Výsledné hodnoty všech směsí na válcových tělesech	62
Tab. 16 Maximální průsak tlakovou vodou	66
Tab. 17 Výsledné hodnoty mrazuvzdornosti	69
Tab. 18 Vyhodnocení směsí se struskovým kamenivem po 100 cyklech CHRL	71
Tab. 19 Vyhodnocení závislosti množství odpadu na počtu cyklů	71
Tab. 20 Vyhodnocení směsí s přírodním kamenivem po 100 cyklech CHRL	73
Tab. 21 Vyhodnocení závislosti množství odpadu na počtu cyklů	74
Tab. 22 Výsledné hodnoty vlivu výluhu na počátek tuhnutí	76
Tab. 23 Výsledné hodnoty vlivu výluhu na počátek tuhnutí	76
Tab. 24 Výsledné hodnoty pH a obsahu síranů	77
Tab. 25 Chemické složení vykrystalizované pevné fáze z výluhu	78
Tab. 26 Receptura použitá pro kalorimetrii u VGS	82
Tab. 27 Receptura použitá pro kalorimetrii u cementu	82
Tab. 28 Legenda k použitému značení	82
Tab. 29 Výsledné hodnoty rozpadavosti struskového kameniva v autoklávu	87

13. Seznam příloh

Příloha 1 Kamenivo Tovačov frakce 0 - 4 mm

Příloha 2 Kamenivo Hrabůvka frakce 4 - 8 mm

Příloha 3 Kamenivo Hrabůvka frakce 8 - 16 mm

Příloha 4 Vodní sklo Eurošarm

Příloha 5 Vysokopeční struska Kotouč Štramberk

Příloha 6 Hydroxid sodný

Příloha 7 Protokol o zkoušce (Rozpadavost struskového kameniva v autoklávu)

Příloha 8 Sika ViscoCrete - 2700

Příloha 1

ES PROHLÁŠENÍ O SHODĚ



1392

Výrobce:

Českomoravské šterkovny a.s.

Mokrá 359

664 05 MOKRÁ

IČ: 63475511

04

1392-CPD-095

Provozovna: **Tovačov**

Frakce kameniva: **0/4**

Přírodní těžené kamenivo

Charakteristika	Vyjádření	EN 12620	EN13043	EN13139	EN 13242
Zmitost	kategorie	G _F 85	G _A 85	vyhovuje	G _F 85
Tolerance pro zmitost HK	kategorie	-	-	-	-
Tolerance pro zmitost DK a směsi	kategorie	NPD	G _{TC} 20	vyhovuje	G _T 20
Drobná zrna pod 0,5 mm	kategorie	-	-	CP 5-45	-
Obsah jemných částic	kategorie	f ₃	f ₃	kategorie 1	f ₃
Jakost jemných částic	kategorie	NPD	NPD	NPD	NPD
Tvarový index	kategorie	-	-	-	-
Index plochosti	kategorie	-	-	-	-
Délka zrna	kategorie	-	-	-	-
Obsah schránek živočichů	kategorie	NPD	-	NPD	-
Podíl ostrohranných zrn v HK	kategorie	-	-	-	-
Odolnost proti drcení-Los Angeles	kategorie	-	-	-	-
Odolnost proti drcení v rázu	kategorie	NPD	NPD	-	NPD
Odolnost proti otěru	kategorie	NPD	NPD	-	NPD
Odolnost proti ohladitelnosti	kategorie	NPD	NPD	-	-
Odolnost proti povrchovému obru	kategorie	NPD	NPD	-	-
Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	kategorie	NPD	NPD	NPD	NPD
Odolnost vůči tepelným šokům	dekl. hodnota	-	NPD	-	-
Objemová hmotnost	dekl. hodnota	2,619	2,619	2,619	2,619
Sypná hmotnost	dekl. hodnota	1,566	1,566	1,566	1,566
Nasákavost	dekl. hodnota	1,5	2	2	2
Objemová stálost	vyhov./nevyhov.	NPD	-	-	-
Alkalicko-křemičitá reakce	vyhov./nevyhov.	vyhovuje	-	NPD	-
Chloridy	dekl. hodnota	0,0004	-	0,0004	-
Sířany rozpustné v kyselině	kategorie	AS _{0,2}	-	AS _{0,2}	AS _{0,2}
Celková síra	vyhov./nevyhov.	vyhovuje S ₁	vyhovuje S ₁	vyhovuje S ₁	vyhovuje S ₁
Chemické složení	dekl. hodnota	-	NPD	-	-
Afinita mezi HK a asfaltovým pojivem	dekl. hodnota	-	NPD	-	-
Obsah lehkých znečišťujících částic	dekl. hodnota	max. 0,01	-	-	-
Obsah humusovitých částic	vyhov./nevyhov.	vyhovuje	-	vyhovuje	vyhovuje
Obsah oxidu uhličitého	dekl. hodnota	NPD	-	-	-
Obsah přírodních radionuklidů	vyhov./nevyhov.	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
Druh kameniva	název	šterkopísek			

Výrobek je v souladu s přílohami ZA příslušných EN norem.

V Mokrém, dne 1.6.2004

ČESKOMORAVSKÉ ŠTERKOVNY a.s.
Mokrá 359, PSČ 664 05
IČ: 63475511

RNDr. Václav Bližkovský
vedoucí OKRJ-zmocněná osoba

Příloha 2

24/04 2007 10:57 FAX 581698960

ČESKOMOR. : STERKOVNY, HRAB

003

ES PROHLÁŠENÍ O SHODĚ



1392

Výrobce:

Českomoravské šterkovny a.s.

Mokrá 359

664 05 MOKRÁ

IČ: 63475511

06

1392-CPD-081

Provozovna:	Hrabůvka	Frakce kameniva:	4/8P
-------------	----------	------------------	------

Přírodní drcené kamenivo

Charakteristika	Vyjádření	EN 12620	EN13043	EN 13242
Zrnitost	kategorie	G ₂ 85/20	G ₂ 90/15	G ₂ 85/15
Tolerance pro zrnitost HK	kategorie	NPD	G _{250/15}	GT ₂ 25/15
Tolerance pro zrnitost DK a směsí	kategorie	-	-	-
Drobná zrna	kategorie	-	-	-
Obsah jemných částic	kategorie	f _{1,5}	f ₂	f ₂
Jakost jemných částic	kategorie	NPD	NPD	NPD
Tvarový index	kategorie	SI ₁₀₀	SI ₁₀₀	SI ₁₂₅
Index plochosti	kategorie	NPD	NPD	NPD
Délka zrna	kategorie	-	-	-
Obsah schránek živočichů	kategorie	NPD	-	-
Podíl ostronranných zrn v HK	kategorie	-	NPD	NPD
Odolnost proti drcení Los Angeles	kategorie	LA ₁₀	LA ₁₀	LA ₁₀
Odolnost proti drcení v rázu	kategorie	NPD	NPD	NPD
Odolnost proti otěru	kategorie	NPD	NPD	NPD
Odolnost proti ohléditelnosti	dekl. hodnota	63	63	-
Odolnost proti povrchovému obrušování	kategorie	NPD	NPD	-
Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	kategorie	F ₂	F ₂	F ₂
Odolnost vůči tepelným šokům	dekl. hodnota	-	NPD	-
Objemová hmotnost	dekl. hodnota	2,66	2,66	2,66
Sypná hmotnost	dekl. hodnota	1,32	1,32	1,32
Nasákavost	dekl. hodnota	1,5	2	2
Objemová stálost	vyhov./nevyhov.	NPD	-	-
Alkalicko-křemičitá reakce	vyhov./nevyhov.	vyhovuje	-	-
Chloridy	dekl. hodnota	0,0003	-	-
Sířany rozpustné v kyselině	kategorie	AS _{2,2}	-	AS _{4,4}
Celková síra	vyhov./nevyhov.	vyhovuje S ₁	vyhovuje S ₁	vyhovuje S ₁
Chemické složení	dekl. hodnota	-	NPD	-
Afinita mezi HK a asfaltovým pojivem	dekl. hodnota	-	NPD	-
Obsah lehkých znečišťujících částic	dekl. hodnota	max 0,05	-	-
Obsah hrubých organických látek	dekl. hodnota	-	m _{up} 0,5	-
Obsah humusovitých částic	vyhov./nevyhov.	NPD	-	NPD
Obsah oxidu uhličitého	dekl. hodnota	NPD	-	-
Obsah přírodních radionuklidů	vyhov./nevyhov.	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
Druh kameniva	název	-	droba	-

V Mokré, dne 2.2.2006

ČESKOMORAVSKÉ ŠTERKOVNY, a.s.

Mokrá 359, PSČ 664 04

IČ: 63475511

-16-

Ing. Zdeněk Pavlík
výrobní ředitel

Příloha 3

24/04 2007 10:58 FAX 581699960

ČESKOMOR. : STERKOVNY, HRAB

004

ES PROHLÁŠENÍ O SHODĚ



1392

Výrobce:

Českomoravské šterkovny a.s.

Mokrá 359

664 05 MOKRÁ

IČ: 63475511

06

1392-CPD-081

Provozovna:	Hrabůvka	Frakce kameniva:	8/16
-------------	----------	------------------	------

Přírodní drcené kamenivo

Charakteristika	Vyjádření	EN 12620	EN13043	EN 13242
Zrnitost	kategorie	G ₂ 85/20	G ₂ 80/15	G ₂ 85/15
Tolerance pro zrnitost HK	kategorie	NPD	G _{25/15}	GT ₂ 25/15
Tolerance pro zrnitost DK a směsi	kategorie	-	-	-
Drobná zrna	kategorie	-	-	-
Obsah jemných částic	kategorie	f _{1,5}	f ₂	f ₄
Jakost jemných částic	kategorie	NPD	NPD	NPD
Tvarový index	kategorie	SI ₁₀	SI ₁₅	SI ₁₀
Index plochosti	kategorie	NPD	NPD	NPD
Délka zrna	kategorie	-	-	-
Obsah schránek živočichů	kategorie	NPD	-	-
Podíl ostrohranných zrn v HK	kategorie	-	NPD	NPD
Odolnost proti drcení-Los Angeles	kategorie	LA ₁₀	LA ₁₅	LA ₁₀
Odolnost proti drcení v rázu	kategorie	NPD	NPD	NPD
Odolnost proti otěru	kategorie	NPD	NPD	NPD
Odolnost proti ohladitelnosti	dekl. hodnota	63	63	-
Odolnost proti povrchovému obrušování	kategorie	NPD	NPD	-
Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	kategorie	F ₂	F ₃	F ₄
Odolnost vůči tepelným šokům	dekl. hodnota	-	NPD	-
Objemová hmotnost	dekl. hodnota	2,68	2,68	2,68
Sypná hmotnost	dekl. hodnota	1,32	1,32	1,32
Nasákavost	dekl. hodnota	1,5	2	2
Objemová stálost	vyhov./nevyhov.	NPD	-	-
Alkalicko-křemičitá reakce	vyhov./nevyhov.	vyhovuje	-	-
Chloridy	dekl. hodnota	0,0003	-	-
Síraný rozpustný v kyselině	kategorie	AS _{1,2}	-	AS _{NR}
Celková síra	vyhov./nevyhov.	vyhovuje S ₁	vyhovuje S ₁	vyhovuje S ₁
Chemické složení	dekl. hodnota	-	NPD	-
Afinita mezi HK a asfaltovým pojivem	dekl. hodnota	-	NPD	-
Obsah lehkých znečišťujících částic	dekl. hodnota	m _{EX} 0,05	-	-
Obsah hrubých organických látek	dekl. hodnota	-	m _{FC} 0,5	-
Obsah humusovitých částic	vyhov./nevyhov.	NPD	-	NPD
Obsah oxidu uhličitého	dekl. hodnota	NPD	-	-
Obsah přírodních radionuklidů	vyhov./nevyhov.	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
Druh kameniva	název	droba		

V Mokré, dne 2.2.2006

ČESKOMORAVSKÉ ŠTERKOVNY, a.s.

Mokrá 359, PSČ 664 04

IČ: 63475511

-18-

Ing. Zdeněk Pavlík

výrobní ředitel

TECHNICKÁ SPECIFIKACE ZBOŽÍ

Název:

VODNÍ SKLO 36/38

Charakteristika:

vodný roztok křemičitanu sodného

Ostatní názvy:

Silikát sodný; křemičitá kyselina, sodná sůl

CAS:

1344-09-8

EINECS:

215-687-4

Vzhled:

Čirá nebo slabě zakalená bezbarvá viskózní kapalina alkalické reakce

Specifikace jakosti, parametry:

Parametr	M.J	Hodnota
Molární poměr		3,2 – 3,5
Hustota	kg.m ⁻³	1320 – 1350

Další údaje:

 Obsah SiO₂ oca 25 – 26 %
 Obsah Na₂O oca 7 – 8 %

Pokyny pro skladování:

Skladujte na čistém, suchém, dobře větraném místě. Uchovávejte uzavřené. Doporučená skladovací teplota: > 5 °C

Doba expirace:

24 měsíců

Balení:

 50 l PE sudy
 200 l sudy
 1000 l nebo 600 l kontejner
 Silniční či železniční cisterna

REACH:

Látka byla registrována, registrační číslo: 01-2119448725-31-XXXX.

EURO – Šarm spol. s r. o.

Těšínská 222, 739 34 Šenov, Czech Republic

IČ: 63988186, DIČ: CZ63988186, bankovní spojení: KB Havířov, č. účtu 21507-791/0100

Tel.: +420 597 485 910, fax: +420 596 831 102, datová schránka: 9herxwv, e-mail: eurosarm@eurosarm.cz; www.eurosarm.cz

Společnost je zapsána v obchodním rejstříku u Krajského soudu v Ostravě, oddíl C, vložka 38395

Společnost je držitelem certifikátu QMS dle ISO 9001 a EMS dle ISO 14001



Struska velmi jemně mletá

Technické parametry:

SMŠ dle PN SMŠ 72 20 90	SMŠ dle XYZ m ² /kg
Typ výrobku, příklad	SMŠ 400
Měrný povrch dle <u>Blaine</u>	≥ 400 m ² /kg
	≥ 4.000 cm ² /g
Zbytek na síti 45μm	≤ 4 %
Index účinnosti po 7 dnech *	> 50 %
Index účinnosti po 28 dnech *	> 80 %
Objemová stálost dle <u>Le Chateliera</u>	< 10 mm
Obsah chloridů	≤ 0,1 %

* poměr (%) pevnosti v tlaku normalizovaných trámečků z malty připravené se 50 % hmotnosti referenčního cementu a 50 % hmotnosti SMŠ, k pevnosti v tlaku normalizovaných trámečků z malty připravené jen se samotným referenčním cementem dle ČSN EN 196-1.



Chemické vlastnosti:

Struska mletá	<u>m.j.</u>	PN 72 2090	dosahované průměrné skutečnosti
<u>CaO</u>	%	26 – 45	40,0
<u>MgO</u>	%	4 – 15	8,9
<u>SiO₂</u>	%	28 – 45	39,9
<u>Al₂O₃</u>	%	4 – 12	6,9
<u>Fe₂O₃</u>	%	< 1,5	0,4
<u>SO₃</u>	%	≤ 1,5	0,6
<u>(CaO + MgO) / SiO₂</u>	%	> 1,0	1,2

Objednávky, informace: KOTOUC ŠTRAMBERK, spol. s r.o., Libotín 500, 742 66 Štramberk
tel.: 556 873 582-5; fax.: 556 873 581; e-mail: obchod@kotouc.cz

Vyhrazujeme si právo provést změny ve výrobcích, které jsou výsledkem technického pokroku. Tímto vydáním ztrácí platnost všechna starší vydání. Aktualizace 12/2013
Identifikace : 511/1.

Příloha 6

Hydroxid sodný		Sodium hydroxide
NaOH	M _r 40,00	
CAS: 1310-73-2		
EINECS: 215-185-5		
15760	p.a. / G.R.	1000 g
Obsah / Assay	min. 98,0%	
Na ₂ CO ₃	max. 1,5%	
Cl ⁻	max. 0,002%	
SO ₄ ²⁻	max. 0,0008%	
SiO ₂	max. 0,005%	
Fe	max. 0,001%	
Těžké kovy / Heavy metals (Ag)	max. 0,001%	
N celkový / N total	max. 0,0005%	
15740	čistý / pure	1000 g
Obsah / Assay	min. 97,0%	
Na ₂ CO ₃	max. 1,5%	
Cl ⁻	max. 0,008%	
SO ₄ ²⁻	max. 0,003%	
SiO ₂	max. 0,01%	
N celkový / N total	max. 0,001%	
Klasifikace podle směrnice 67/548/EHS / Classification according to 67/548/EHS		
	R 35 S (1/2)-26-37/39-45	
Živý		
Klasifikace podle nařízení 1272/2008/ES / Classification according to 1272/2008/ES		
	H 314, 290 P 280, 310, 305+351+338 Signální slovo: Nebezpečí / Signal word: Danger	
Klasifikace podle ADR/RID / Classification according to ADR/RID		
ADR/RID: 8/ C6/ II		
UN 1823		

**ZKUŠEBNA KAMENE A KAMENIVA, s.r.o.
STONE AND AGGREGATES TEST CENTRE, LTD.**

Zkušební laboratoř č. 1046 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005
Testing laboratory No. 1046 accredited by Czech Accreditation Institute in accordance with EN ISO/IEC 17025:2005

Husova 675, 508 01 Hořice, Czech Republic telefon 493 623 478 e-mail: azl@zkk.cz



Číslo zakázky
a protokolu : 870/17
Počet výtisků : 2
Výtisk číslo : 1

PROTOKOL O ZKOUŠKÁCH

Klient : SG Geotechnika a.s.
Geologická 988/4
152 00 Praha 5

Materiál : Struskové kamenivo
z odvalu Koněv (Kladno)

Druh kameniva : Umělé kamenivo

Vykonavatel : Zkušebna kamene a kameniva, s.r.o.
Husova 675
508 01 Hořice

Řešitelské pracoviště : Zkušební laboratoř č. 1046 akreditovaná ČIA
podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005
ZL Hořice

Datum provedení zkoušek : 16.5.2017 - 16.5.2017

Datum vystavení protokolu : 18.5.2017

Za správnost protokolů odpovídá : Jaroslava Soukupová
zástupce vedoucího zkušební laboratoře

Protokol obsahuje 2 strany (včetně titulu).
Protokol byl vystaven ve dvou vyhotoveních.
Výtisk číslo 1 obdržel klient, výtisk číslo 2 si ponechal vykonavatel.



Prohlášení: ¹⁾ Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených vzorků
²⁾ Bez písemného souhlasu ZL nesmí být tento protokol reprodukován jinak než celý
³⁾ Stížnost nebo námitku k protokolu lze vznést písemně k vedoucímu ZL do 15 dnů od doručení

1. PŘEDMĚT ZKOUŠEK

Vzorek byl převzat a zaevidován takto :

Zakázka číslo	870/17	
Datum převzetí	10.5.2017	
Vzorky převzal za ZL	M. Faltová	
Zástupce klienta	Ing. Vosmanská	
Vzorek kameniva		
Frakce v mm	Číslo vzorku	Hmotnost v kg
8/16	2246/17	20

2. ROZSAH A SPECIFIKACE ZKOUŠEK

Na základě objednávky Z-IO 130/17 byla provedena zkouška rozpadavosti v autoklávu.

U všech zkoušek byla splněna podmínka o počtu souběžných stanovení a dodrženy požadavky na zkušební prostředí. Použité přístroje a zařízení jsou metrologicky navázány ve shodě s metrologickým řádem ZL a odpovídají požadavkům ČSN EN 932-5.

Uvedené rozšířené nejistoty měření jsou založeny na standardní nejistotě měření násobené koeficientem rozšíření $k = 2$, což pro normální rozdělení poskytuje hladinu spolehlivosti přibližně 95 %.

3. POUŽITÉ POSTUPY A ZKUŠEBNÍ METODY

Zmenšování laboratorních vzorků

podle ČSN EN 932-2.

Stanovení rozpadavosti kameniva z vysokopecní strusky pařením v autoklávu

podle TP 138, příloha A.

Hodnota rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 0,2 % hm.

4. VÝSLEDKY ZKOUŠEK

Vlastnost	Zkušební metoda	Jednotky	Stanovení		Průměr
			1.	2.	
Rozpadavost kameniva z vysokopecní strusky pařením v autoklávu	TP 138, příloha A	% hm.	0,01	0,02	0,0

5. PŘÍLOHY PROTOKOLU O ZKOUŠKÁCH

Bez příloh

- KONEC PROTOKOLU -



Technický list

Datum vydání: 06/2016

Identifikační číslo: 02 13 01 01 100 0 002374

Verze č. 01

Sika® ViscoCrete®-2700

Sika® ViscoCrete®-2700

Vysoce účinný superplastifikátor s rychlým nárůstem počátečních pevností a prodlouženou zpracovatelností

Popis výrobku Sika® ViscoCrete®-2700 je vysoce účinný superplastifikátor s vysokými počátečními pevnostmi, vhodný především pro výrobu prefabrikátů.

Použití Sika® ViscoCrete®-2700 je vhodný pro:

- betony s prodlouženou dobou zpracovatelnosti
- betony s redukováním vyztužením
- tekuté betony konzistence F4-F6
- samozhutitelné betony (SCC)

Výhody

- zlepšuje dispergaci a smáčení zrn cementu
- snižuje třecí síly mezi zrn cementu a kameniva
- snižuje množství záměsové vody
- prodlužuje dobu zpracovatelnosti
- zlepšuje zpracovatelnost při stejném vodním součiniteli $v=w/c$
- snižuje vodní součinitel při zachování stejné zpracovatelnosti
- pomalejší průběh tuhnutí, nižší intenzita hutnění
- vysoce homogenní beton
- vyšší počáteční a konečné pevnosti v tlaku
- zvyšuje životnost
- snižuje smrštění a dotvarování
- výrazně lepší povrchy betonu – pohledové betony

Zkušební zprávy

Testy Vydáno Prohlášení o vlastnostech č. 02 13 01 01 100 0 002374 1180, certifikováno Oznámeným subjektem č. 1020, certifikát 1020-CPR-02002779
Odpovídá požadavkům EN 934-1 a EN 934-2:2002, tab.3.1/3.2.

Technická data

Barva	Nažloutlá.
Forma	Kapalina.
Chemická báze	Vodný roztok modifikovaných polykarboxylátů
Objemová hmotnost	~1,06 g/cm ³ (při +20 °C)
Obsah alkálií (Na₂O)	≤ 1,0 %
Balení	Kanistr: 30 kg Sud: 200 kg Kontejner: 1000 kg Další balení na vyžádání



Podmínky skladování	Nejméně 1 rok od data výroby v uzavřeném neporušeném originálním obalu. Chraňte před znečištěním, mrazem a přímým slunečním zářením.
Podmínky skladování (pokračování)	Při dodávkách v cisternách je nutné stáčet přísadu do čistých nádob. Po delším stání před použitím promíchejte.

Informace o systému

Dávkování	0,2 – 2,5 % na hmotnost cementu.
Pokyny pro zpracování	Ve výrobních transportbetonu doporučujeme přidávat Sika® ViscoCrete®-2700 přímo do betonu během míchání a před přidáním dalších přísad. Minimální doba míchání závisí na typu míchačky. Při dodatečném dávkování přímo do domíchávače je nutné zajistit optimální dávkování a promíchání přísady. Doba míchání je 1 min/m ³ , minimálně však 5 minut na celkové množství.
Poznámky k aplikaci	Doporučujeme předem provést zkušební záměsi.

Platnost hodnot

Hodnoty a data uvedená v tomto technickém listu jsou založena na výsledcích laboratorních testů. Tyto hodnoty se mohou při aplikaci v praxi lišit, což je mimo naší kontrolu.

Detailní informace o zdravotní závadnosti a bezpečnosti práce jsou spolu s bezpečnostními informacemi (např. fyzikálními, toxikologickými a ekologickými daty) uvedeny v bezpečnostním listu.

Aktuální technické a bezpečnostní listy, Prohlášení o shodě, Certifikáty najdete na internetové adrese www.sika.cz.

Bezpečnostní předpisy

- Při zpracování je nutné dodržovat bezpečnostní pokyny, platné předpisy příslušných úřadů o ochraně zdraví při práci.
- Při aplikaci používejte ochranný oděv, brýle a rukavice.
- Podrobnější údaje týkající se hygieny a bezpečnosti práce, ochrany životního prostředí jsou uvedeny v Bezpečnostním listu.
- Odstraňování odpadu - Odpad dle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech.
- Odpad odvézt na skládku stavebního odpadu nebo předejte odborné firmě k likvidaci. Fólie je možné recyklovat.

Místní omezení

V závislosti na specifických místních omezeních se mohou výsledné vlastnosti tohoto výrobku v různých zemích lišit. Vždy se řiďte informacemi uvedenými v platném Technickém listu.

Právní dodatek

Uvedené informace, zvláště rady pro zpracování a použití našich výrobků, jsou založeny na našich znalostech z oblasti vývoje chemických produktů a dlouholetých zkušenostech s aplikací v praxi při standardních podmínkách a řádném skladování a používání. Vzhledem k rozdílným podmínkám při zpracování a dalším vnějším vlivům, k četnosti výrobků, různému charakteru a úpravě podkladů, nemusí být postup na základě uvedených informací, ani jiných psaných či ústních doporučení, vždy zárukou uspokojivého pracovního výsledku. Veškerá doporučení firmy Sika CZ, s.r.o. jsou nezávazná. Aplikátor musí prokázat, že předal písemně včas a úplné informace, které jsou nezbytné k řádnému a úspěšnému zaručujícímu posouzení firmou Sika. Aplikátor musí přezkoušet výrobky, zda jsou vhodné pro plánovaný účel aplikace. Především musí být zohledněna majetková práva třetí strany. Všechny námi přijaté objednávky podléhají našim aktuálním „Všeobecným obchodním a dodacím podmínkám“. Ujistěte se prosím vždy, že postupujete podle nejnovějšího vydání technického listu výrobku. Ten je spolu s dalšími informacemi k dispozici na našem technickém oddělení nebo na www.sika.cz.



Sika CZ, s.r.o.
Bystřická 1132/36,
CZ 624 00 Brno

tel: +420 546 422 464
fax: +420 546 422 400
e-mail: sika@cz.sika.com
<http://www.sika.cz>

